



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY STROJÍRENSKÉHO
DÍLU**

EFFICIENCY IMPROVEMENT PROPOSAL OF PRODUCTION OF ENGINEERING COMPONENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Hapala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Václav Hapala**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh na zefektivnění výroby strojírenského dílu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce bude návrh na zefektivnění procesu obrábění strojírenského dílu pro regálový zakladač. V práci bude provedena analýza stávajícího stavu obrábění dílu z hlediska dané technologie. Dále bude navržena inovace, která bude mít za následek zefektivnění stávajícího výrobního procesu. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením, včetně rozboru navrženého řešení a porovnáním se stávající variantou výroby.

Cíle diplomové práce:

- Popis, rozbor a charakteristika použitých technologií třískového obrábění.
- Analýza stávajícího stavu obrábění dílu.
- Návrh inovace výrobního procesu – zefektivnění stávajícího stavu.
- Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

LEINVEBER, J. Strojnické tabulky. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 911 s. ISBN 80-718-3164-6.


KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. Vyd. 1. Praha: MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem na zefektivnění výroby dílce. V teoretické části byly popsány technologie frézování a vrtání. V praktické části byl proveden rozbor stávající technologie výroby dílce a analýza časové náročnosti pro posouzení efektivity současného procesu obrábění. V další části byla provedena charakteristika inovativní technologie, použité nástroje a přípravky. V závěru práce byly vyhodnoceny obě varianty výroby včetně časové náročnosti a výrobních nákladů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Frézování, vrtání, strojní čas, zefektivnění, náklady

ABSTRACT

The master's thesis deals with the proposal of more effective production of a part. The theoretical part describes the technology of milling and drilling and the practical part focuses on the analysis of the current part production technology and the consumption of the machining time as assessment of the current machining process efficiency. The next part contains characteristics of the innovative technology, used tools and fixtures. In the conclusion both variants of production, the comparison of consumed machine time and production costs are evaluated.

KEYWORDS

Milling, drilling, unit machine time, increase of efficiency, costs

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAPALA, Václav. *Návrh na zefektivnění výroby strojírenského dílu*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117242>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Josefa Sedláka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne

.....

Bc. Václav Hapala

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu doc. Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. za cenné připomínky a rady při tvorbě této diplomové práce. Děkuji panu Romanu Vozákovi a Petru Křížovi ze společnosti SSI Schäfer s. r. o. za pomoc při přípravách a realizaci inovace. Děkuji své rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	5
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH	8
ÚVOD	10
1 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ A VRTÁNÍ	11
1.1 Technologie frézování	11
1.1.1 Válcové frézování	12
1.1.2 Čelní frézování	16
1.1.3 Frézovací nástroje	19
1.2 Technologie vrtání	21
1.2.1 Kinematika vrtání	21
1.2.2 Vrtací nástroje	23
2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	26
2.1 Představení společnosti	26
2.1.1 Popis obráběného dílu	28
2.1.2 Ocel S235JR	28
2.1.3 Obrobitelnost ocelí	29
2.1.4 Technologické problémy součásti Rollenträger	31
3 ROZBOR STÁVAJÍCÍ VÝROBY DÍLU	32
3.1 Sled výrobních operací	33
3.2 Vodorovná vyvrtávačka WHQ 105 CNC	34
3.3 Technologický rozbor obrábění dílu	35
3.3.1 První upnutí	35
3.3.2 Druhé upnutí	36
3.3.3 Třetí upnutí	39
3.3.4 Výstupní kontrola svařence	40
3.4 Rozbor časové náročnosti obrábění	41
4 NÁVRH INOVATIVNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY	43
4.1 Sled výrobních operací	44
4.2 Obráběcí centrum MCV 1210	45
4.3 Návrh inovativního postupu obrábění dílu	46
4.3.1 Upínací přípravek	46
4.3.2 Rozbor upínání svařence	46

OBSAH

5	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	49
5.1	Rozbor časové náročnosti obrábění	49
5.2	Srovnání výrobních časů obou variant obrábění	50
5.3	Ekonomické zhodnocení stávající a inovativní technologie.....	52
	ZÁVĚR.....	53
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	56

ÚVOD

V dnešní moderní době je kladen důraz na efektivnost a hospodárnost výrobního procesu. Úpravou různých faktorů, kterými je výrobní proces ovlivňován, je možné dosáhnout značného zefektivnění výroby a tím dojít ke snížení výrobních nákladů a navýšení výrobní kapacity daného podniku.

Třískové obrábění je technologický proces, jehož pomocí lze vytvářet obrobky daných tvarů a přesností. Obrábění se provádí mnoha metodami, mezi které patří soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, broušení a další. V první části této práce byla popsána technologie frézování a vrtání. Následně byla popsána společnost SSI Schäfer s. r. o., v jejíž spolupráci tato práce vznikla. Společnost SSI Schäfer s. r. o. se s dlouholetou tradicí zabývá výrobou logistických systémů pro vybavení skladů. Dále byl popsán dílec Rollenträger a jeho technologický rozbor.

Praktická část diplomové práce se zabývala popisem stávající technologie výroby dílu. Byl proveden rozbor jednotlivých upnutí, použitých řezných nástrojů včetně řezných podmínek a tvorby drah nástrojů. Dále byla provedena časová náročnost obrábění pro výrobu jednoho kusu, jedné výrobní dávky a celé výrobní dávky za rok. Následně byl proveden návrh inovativní technologie obrábění, včetně rozboru použitého přípravku, řezných nástrojů a způsobu obrábění.

Závěr této diplomové práce obsahuje technicko – ekonomické zhodnocení stávající a inovativní technologie výroby. Byl zde proveden rozbor spotřeby časů potřebných k obrobení dílce pomocí inovativního řešení a kalkulace výrobních nákladů spojených s obráběním.

1 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ A VRTÁNÍ

Frézování a vrtání patří mezi základní technologie obrábění, při kterých je proces obrábění vykonáván zpravidla vícebřitými nástroji s definovanou geometrií.

1.1 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

Frézování je nejuniverzálnější metoda obrábění, při které je materiál obrobku odebírán břitý otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji vykonává obrobek, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. Materiál obrobku je odřezáván současně více břitý nástroje, výsledná řezná síla je tedy součtem sil působících na jednotlivé břity nástroje. Frézování se dělí podle použitého nástroje na frézování čelní a frézování obvodové. Z těchto dvou základních principů jsou odvozeny některé další způsoby frézování, např. frézování okružní a planetové [1, 2, 3].

Pohyb nástroje vůči obrobku je definován několika pojmy, mezi které patří:

Řezná rychlost v_c – je označována jako obvodová rychlost, kterou je opracováván obrobek břitem nástroje [1, 4].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

kde: v_c [m.min⁻¹] – řezná rychlost,
 D [mm] – průměr nástroje,
 n [min⁻¹] – otáčky nástroje.

Rychlost posuvu v_f – relativní rychlost mezi osou nástroje a obrobkem [1, 4].

$$v_f = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{1000} \quad (1.2)$$

kde: v_f [mm.min⁻¹] – rychlost posuvu,
 f_z [mm] – posuv na zub nástroje,
 z [–] – počet zubů nástroje
 n [min⁻¹] – otáčky nástroje.

Rychlost řezného pohybu v_e – vektorový součet v_c a v_f udávající efektivní výsledný pohyb skalárně [4].

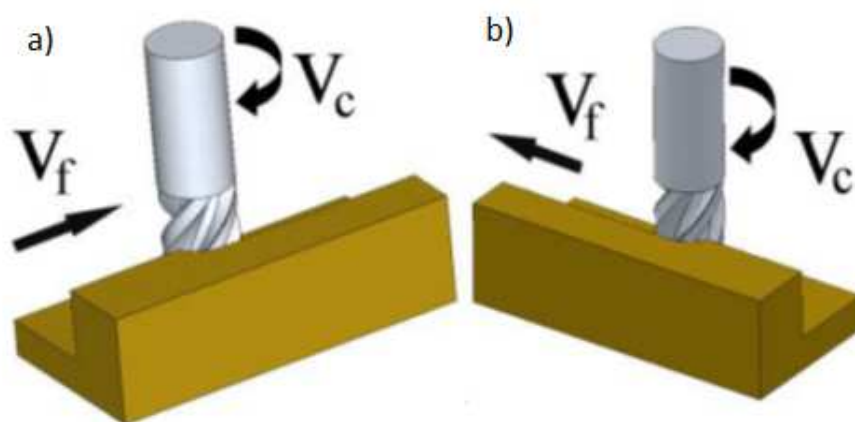
$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (1.3)$$

1.1.1 VÁLCOVÉ FRÉZOVÁNÍ

Válcové frézování se uplatňuje převážně při práci s válcovými a tvarovými frézami, hloubka odebírané vrstvy je nastavována kolmo na osu frézy a směr posuvu. Rozlišuje se frézování **nesousledné** (nesouměrné) a **sousledné** (souměrné), směry a smysly posuvové a řezné rychlosti jsou zobrazeny na obr. 1.1 [2, 3, 5].

Nesousledné frézování – „Při nesousledném frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Při tom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu“ [2]. Řezné síly směřují ven z obrobku, dochází ke snaze vytažení obrobku z upínače, je tedy za potřeby pevného upnutí obrobku. Při nesousledném frézování dochází k většímu opotřebení nástroje než u frézování sousledného [1, 5, 6].

Sousledné frézování – „Při sousledném frézování je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí obvykle směrem dolů“ [2]. Při sousledném frézování lze docílit lepší kvality obrobeného povrchu, potřebný výkon pro frézování je menší než u frézování nesousledného. Řezná síla u sousledného frézování směřuje do stolu a tím obrobek přitlačuje, lze tedy použít jednodušší upínací přípravky než u frézování nesousledného. Zároveň dochází k menšímu opotřebení břitu, což umožňuje použít vyšší řezné rychlosti a posuvy [1, 5, 6].



Obr. 1.1 Válcové frézování [7]: a) nesousledné, b) sousledné.

Tloušťka třísky se při válcovém nesousledném frézování mění od nulové hodnoty do maximální a při frézování sousledném od maximální hodnoty do nuly.

Jmenovitá tloušťka třísky h_i v kterékoliv fázi jejího odřezávání je vyjádřena vztahem:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i \quad (1.4)$$

kde: h_i [mm] – jmenovitá tloušťka třísky,
 f_z [mm] – posuv na zub,
 φ_i [°] – úhel posuvového pohybu.

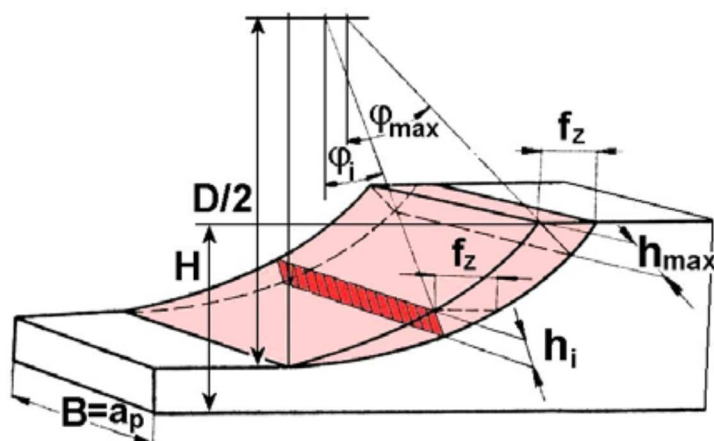
Při řešení průřezu třísky je potřebné uvažovat, že průřez třísky a silové zatížení v průběhu frézování není konstantní a mění se nejen v závislosti na úhlu posuvového pohybu φ_i , ale i na tvaru a poloze zubů viz obr. 1.2. U fréz se šikmými zuby, nebo se zuby ve šroubovici, je třeba brát v úvahu, že se průřez třísky mění i podél příslušného ostří [2, 4, 5].

Pro jmenovitý průřez třísky u válcového frézování platí:

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i \quad (1.5)$$

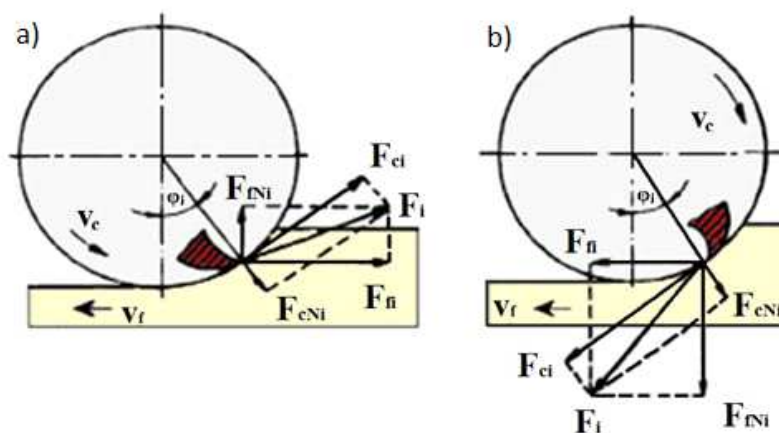
kde: A_{Di} [mm²] – jmenovitý průřez třísky,

a_p [mm] – šířka záběru ostří.



Obr. 1.2 Průřez třísky při válcovém frézování [5].

Řezná síla se v průběhu frézování mění v závislosti na opotřebení frézy. Na začátku frézování je v důsledku pozitivních úhlů čela fréza vtahována do řezu, při opotřebovaném břitě na konci frézování se fréza od místa řezu odtlačuje. Řezné síly při frézování vycházejí ze silových poměrů na jednom břitě nacházejícím se v poloze určené úhlem φ_i viz obr. 1.3 [4, 8, 2].



Obr. 1.3 Řezné síly na zubu válcové frézy při [2]: a) nesousledném, b) sousledném frézování.

Řezná síla F_{ci} je vyjádřena na základě měrné řezné síly k_{ci} a průřezu třísky A_{Di} [2].

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \cdot A_{Di} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \quad (1.6)$$

kde:	F_{ci}	[N]	–	řezná síla,
	k_{ci}	[MPa]	–	měrná řezná síla,
	A_{Di}	[mm ²]	–	jmenovitý průřez třísky,
	C_{Fc}	[–]	–	konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu,
	f_z	[mm]	–	posuv na zub,
	φ_i	[°]	–	úhel posuvového pohybu,
	x	[–]	–	exponent vlivu tloušťky třísky,
	a_p	[mm]	–	šířka záběru ostří.

Při frézování je zpravidla v záběru více břitů frézy, celková řezná síla F_c je tedy dána sumou jednotlivých řezných sil působících na každém zubu v záběru [2, 6].

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \quad (1.7)$$

kde:	F_c	[N]	–	celková řezná síla,
	n_z	[–]	–	počet zubů v záběru.

Počet zubů v záběru se u válcového frézování určí dle vztahu (1.8), výslednou hodnotu je třeba vždy zaokrouhlit na nejbližší vyšší celé číslo.

$$n_z = \frac{\varphi_{max}}{360} \cdot z \quad (1.8)$$

kde:	φ_{max}	[°]	–	maximální úhel posuvového pohybu,
	z	[–]	–	počet zubů frézy.

Jednotkový strojní čas je čas, po který je daný nástroj v záběru a je obecně dán vztahem [2, 5]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (1.9)$$

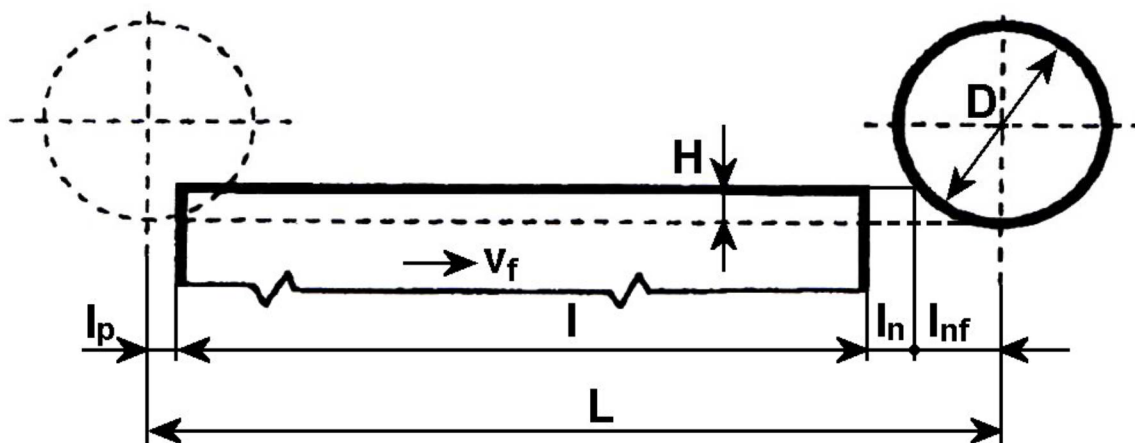
kde: t_{AS} [min] – jednotkový strojní čas,
 L [mm] – dráha nástroje ve směru posuvového pohybu,
 v_f [mm.min⁻¹] – rychlost posuvu.

Pro válcové frézování se délka dráhy nástroje ve směru posuvového pohybu určí podle obr. 1.4 jako [2, 5]:

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} \quad (1.10)$$

$$l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)} \quad (1.11)$$

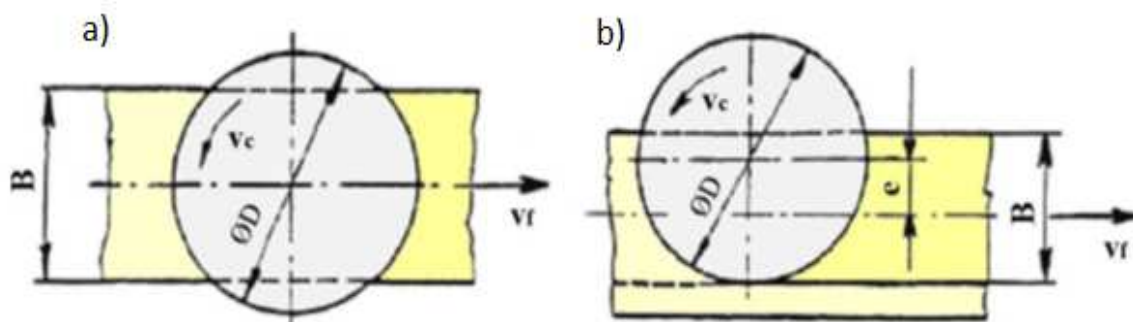
kde: L [mm] – dráha nástroje ve směru posuvového pohybu,
 l [mm] – délka frézované plochy,
 l_n [mm] – délka náběhu,
 l_p [mm] – délka přeběhu,
 l_{nf} [mm] – délka náběhu frézy,
 H [mm] – hloubka odebírané vrstvy,
 D [mm] – průměr frézy.



Obr. 1.4 Dráha frézy pro válcové frézování [5].

1.1.2 ČELNÍ FRÉZOVÁNÍ

Čelní frézování je využíváno při práci s čelními frézami, které mají břity na obvodě i čele nástroje. Vzhledem k poměru šířky frézované plochy B , k průměru frézy D , se rozlišuje frézování symetrické, kdy osa nástroje prochází středem frézované plochy, a frézování nesymetrické, kdy se osa nástroje nachází mimo střed frézované plochy, viz obr 1.5. Protože je obrobená plocha kolmá na osu frézy, volí se šířka záběru ostří a_p také v tomto směru [2, 4, 6].



Obr. 1.5 Čelní frézování [5]: a) symetrické, b) nesymetrické.

Tloušťka třísky se u čelního frézování mění v závislosti na úhlu posuvového pohybu jako u frézování válcového, navíc je však ovlivněna úhlem nastavení hlavního ostří κ_r [2, 5].

Platí, že:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \quad (1.12)$$

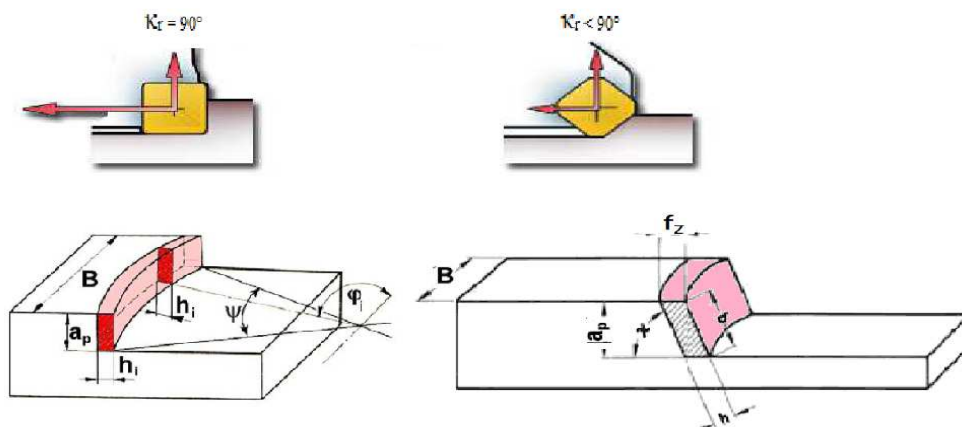
- kde: h_i [mm] – jmenovitá tloušťka třísky,
 f_z [mm] – posuv na zub,
 φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,
 κ_r [°] – úhel nastavení hlavního ostří nástroje.

Jmenovitý průřez třísky u čelního frézování nabývá hodnotu:

$$A_{Di} = b \cdot h_i = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \cdot h_i = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i \quad (1.13)$$

- kde: A_{Di} [mm²] – jmenovitý průřez třísky,
 a_p [mm] – šířka záběru ostří,
 b [mm] – šířka třísky.

Čelní frézování je v porovnání s frézováním válcovým výkonnější, protože je v záběru více zubů a díky tomu lze pracovat s vyšší posuvovou rychlostí [9].



Obr. 1.6 Vliv úhlu nastavení hlavního ostří na průřez třísky při čelním frézování [5, 10, 11].

Řezná síla F_{ci} je u čelního frézování vyjádřena na základě měrné řezné síly k_{ci} , průřezu třísky A_{Di} a na úhlu nastavení hlavního ostří nástroje κ_r [2].

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r)^{1-x}} \cdot A_{Di} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \quad (1.14)$$

kde:	F_{ci}	[N]	–	řezná síla,
	k_{ci}	[MPa]	–	měrná řezná síla,
	A_{Di}	[mm ²]	–	jmenovitý průřez třísky,
	C_{Fc}	[–]	–	konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu,
	f_z	[mm]	–	posuv na zub,
	φ_i	[°]	–	úhel posuvového pohybu,
	x	[–]	–	exponent vlivu tloušťky třísky,
	a_p	[mm]	–	šířka záběru ostří,
	κ_r	[°]	–	úhel nastavení hlavního ostří nástroje.

Při frézování je zpravidla v záběru více břitů frézy, celková řezná síla F_c je tedy dána sumou jednotlivých řezných sil, působících na každém zubu v záběru [2, 6].

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \quad (1.15)$$

kde:	F_c	[N]	–	celková řezná síla,
	n_z	[–]	–	počet zubů v záběru.

Počet zubů v záběru se určí dle vztahu (1.13), výslednou hodnotu je třeba vždy zaokrouhlit na nejbližší vyšší celé číslo.

$$n_z = \frac{\psi}{360} \cdot z \quad (1.16)$$

kde: ψ [°] – maximální úhel posuvového pohybu,
 z [–] – počet zubů frézy.

Jednotkový strojní čas je pro čelní frézování odvozen ze vztahu (1.9), pro hodnoty L platí [5]:

– čelní hrubé frézování asymetrické

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} \quad (1.17)$$

$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} \quad (1.18)$$

Při hrubém čelním frézování symetrickém je hodnota $e = 0$.

– čelní frézování načisto, asymetrické

$$L = l + l_n + l_p + D \quad (1.19)$$

kde: L [mm] – dráha nástroje ve směru posuvového pohybu,
 l [mm] – délka frézované plochy,
 l_n [mm] – délka náběhu,
 l_p [mm] – délka přeběhu,
 l_{pf} [mm] – délka přeběhu frézy,
 B [mm] – šířka frézované plochy,
 D [mm] – průměr frézy,
 e [mm] – přesazení frézy.

1.1.3 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE

Frézovací nástroje se nazývají frézy, jsou to zpravidla vícebřité nástroje s břity uspořádanými na válcové, čelní, kuželové nebo jiné tvarové ploše. Lze je roztrždit dle různých kritérií, mezi základní patří dělení podle obr. 1.7 [5, 6, 2]:

- nástrojového materiálu břitů:
 - rychlořezné oceli,
 - slinuté karbidy,
 - cermety,
 - řezná keramika,
 - KNB,
 - PKD.
- tvaru zubů:
 - frézované,
 - podsoustružené.
- směru zubů:
 - přímé,
 - ve šroubovici.
- počtu zubů:
 - jemnozubé,
 - polohrubozubé,
 - hrubozubé.
- konstrukčního uspořádání:
 - celistvé,
 - s vyměnitelnými břitovými destičkami,
 - dělené,
 - sdružené.
- geometrického tvaru:
 - válcové nástrčné,
 - válcové se stopkou,
 - čelní válcové,
 - kotoučové,
 - úhlové,
 - tvarové.
- způsobu upnutí:
 - nástrčné,
 - s válcovou stopkou,
 - s kuželovou stopkou.
- smyslu otáčení:
 - pravořezné,
 - levořezné.

1)



2)



3)



4)



5)



6)



7)



8)



9)



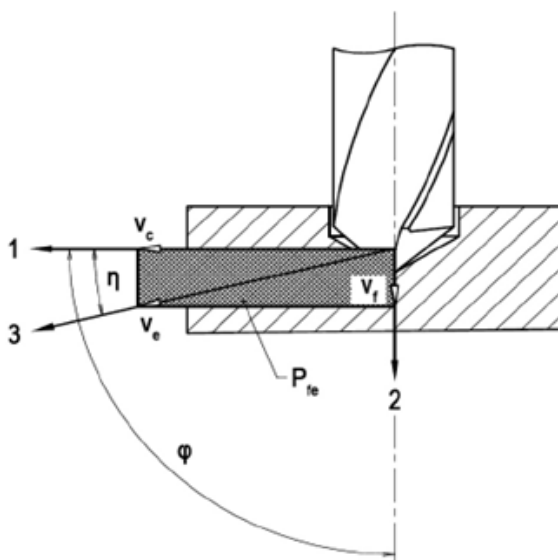
Obr. 1.7 Druhy frézovacích nástrojů: 1) monolitní fréza hrubovací, 2) monolitní fréza dokončovací, 3) fréza rychloposuvová, 4) fréza do rohu, 5) fréza závitovací, 6) fréza tvarová, 7) fréza kotoučová, 8) fréza úhlová, 9) fréza rohová na upínači SK40.

1.2 TECHNOLOGIE VRTÁNÍ

Vrtání je z historického hlediska jeden z nejstarších způsobů obrábění. Touto metodou obrábění se zhotovují válcové díry v obrobku za použití řezného nástroje, vrtáku. Mezi vrtání spadá i vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, což jsou operace, které zlepšují přesnost otvoru a jeho jakost povrchu [2, 5, 12].

1.2.1 KINEMATIKA VRTÁNÍ

Při vrtání je hlavní pohyb rotační a ve většině případů vykonáván nástrojem, v případě soustružení vykonává hlavní rotační pohyb obrobek. Kinematika vrtacího procesu je zobrazena na obr. 1.8.



Obr. 1.8. Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem [2].

1 – směr hlavního pohybu, 2 – směr posuvového pohybu, 3 – směr řezného pohybu, v_c – řezná rychlost, v_f – posuvová rychlost, v_e – rychlost řezného pohybu, P_{fe} – pracovní boční rovina, φ – úhel posuvového pohybu, η – úhel řezného pohybu

Řezná rychlost v_c – řezná rychlost je závislá na průměru vrtáku a otáčkách. Řezná rychlost se ve směru od obvodu ke středu nástroje zmenšuje, až v ose dosahuje nulové hodnoty. Za řeznou rychlost se tedy považuje obvodová rychlost na jmenovitém průměru nástroje [1, 4, 12].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.20)$$

kde: D [mm] – průměr nástroje,
 n [min^{-1}] – otáčky nástroje.

Rychlost posuvu v_f – posuvová rychlost nástroje vůči obrobku, případně rychlost obrobku vůči nástroji. Vyjadřuje se délkou uražené dráhy za jednotku času. Při výpočtu je třeba znát posuv na otáčku f , který je vyjádřen jako posuv nástroje za jednu otáčku [1, 12].

$$v_f = f \cdot n \quad (1.21)$$

kde: f [mm] – posuv na otáčku,

n [min^{-1}] – otáčky nástroje.

Průřez třísky – vrstva obráběného materiálu, odebírána působením ostří nástroje. Rozlišuje se jmenovitý průřez třísky A_D , což je plocha průřezu třísky v rovině řezu v určitém čase a celkový průřez třísky A_{dtot} , který se při použití vícebřitých nástrojů určí jako součet jednotlivých ploch průřezů třísek vytvářených aktivními břity současně, viz obr. 1.9 [5, 12]

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} \quad (1.22)$$

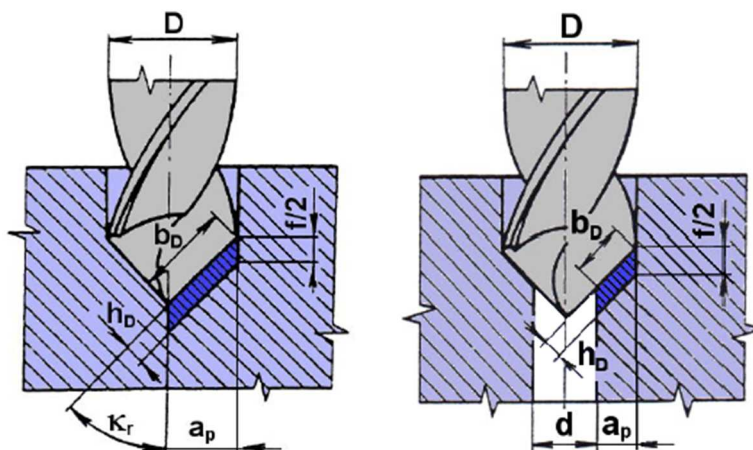
Kde: b_D [mm] – jmenovitá šířka třísky,

h_D [mm] – jmenovitá tloušťka třísky,

a_p [mm] – šířka záběru ostří,

f [mm] – posuv na otáčku.

$$A_{Dtot} = \sum A_{Di} \quad (1.23)$$

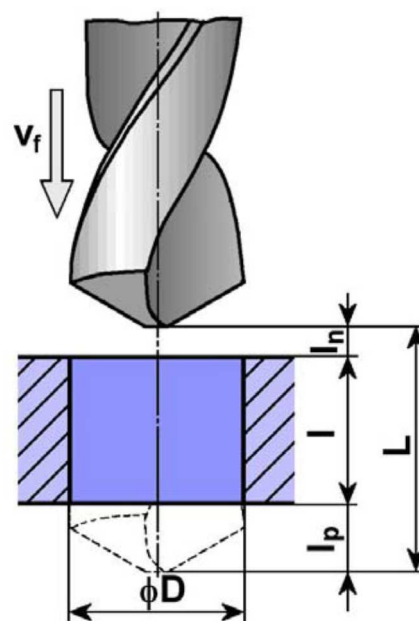


Obr. 1.9 Průřez třísky při vrtání dvoubřitým šroubovitým vrtákem [5].

Jednotkový strojní čas t_{AS} – čas chodu stroje, který odpovídá délce řezu L , viz obr. 1.10. Délka řezu zahrnuje náběh i přeběh nástroje [2, 12].

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad (1.24)$$

Kde:	l_n	[mm]	–	náběh vrtáku,
	l	[mm]	–	délka vrtané díry,
	l_p	[mm]	–	přeběh vrtáku,
	v_f	[mm.min ⁻¹]	–	posuvová rychlost,
	n	[min ⁻¹]	–	otáčky vrtáku,
	f	[mm]	–	posuv na otáčku.



Obr. 1.10 Dráha vrtáku [5].

1.2.2 VRTACÍ NÁSTROJE

Nástroje používané k vrtání otvorů se z technologického hlediska dělí podle délky vrtaného materiálu na nástroje pro vrtání krátkých děr a na nástroje pro vrtání hlubokých děr [5, 12].

Šroubovité vrtáky

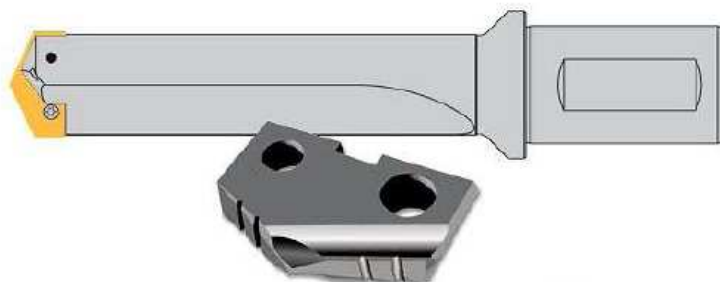
Šroubovité vrtáky jsou nejčastěji používané nástroje k vrtání krátkých děr. Tyto nástroje jsou obvykle tvořeny dvěma břity a šroubovitými drážkami, sloužícími k odvodu třísky z místa řezu. Pro zmenšení tření v místě řezu se vrtáky mírně kuželovitě zužují směrem ke stopce. Řezná část se skládá ze dvou ostří, symetrických vzhledem k ose vrtáku, které jsou na špičce spojeny příčným ostrím. Příklad šroubovitého vrtáku je zobrazen na obr. 1.11 [2, 5, 12].



Obr. 1.11 Šroubovitý vrták.

Kopinaté vrtáky

Kopinaté vrtáky také slouží k výrobě krátkých děr. Jsou nejstarší a mají nejjednodušší konstrukci. Mají vysokou tuhost. Řeznou část vrtáku tvoří dva hlavní břity a břit příčný. Moderní nástroje mají vyměnitelnou řeznou část se speciálně tvarovanými destičkami z rychlořezné oceli nebo ze slinutého karbidu, obr. 1.12. Nevýhodou tohoto typu vrtáku je špatný odvod třísek z místa řezu. Na hlavních hřbetech jsou vybroušeny fazetky pro snížení tření [2, 12, 13, 14].



Obr. 1.12 Kopinatý vrták [13].

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

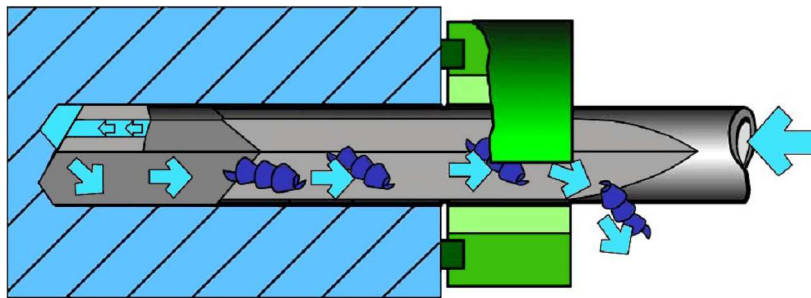
Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou osazeny několika břitovými destičkami ze slinutých karbidů upnutými v držáku pomocí šroubů se zapuštěnou hlavou. Odvod třísek je zajištěn buď přímými drážkami, nebo drážkami ve šroubovici. Používají se různé břitové destičky tak, aby byly zlepšeny nepříznivé podmínky obrábění. Řezná kapalina je do místa řezu přiváděna dutinou v těle vrtáku. Vzhledem k vysoké řezné rychlosti je výkon vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami 5 až 10 krát větší než u vrtáků šroubovitých, viz obr. 1.13 [2, 12, 13, 14].



Obr. 1.13 Vrták s vyměnitelnou břitovou destičkou.

Dělové a hlavňové vrtáky

Dělové a hlavňové vrtáky se používají pro vrtání hlubokých děr. Dělové vrtáky jsou používány především pro vrtání do menší hloubky, protože po vyvrtání určité hloubky se musí vrták vytáhnout, aby se z díry odstranily třísky (geometrie vrtáku nezajišťuje odvod třísek). Hlavňovými vrtáky se vrtají přesnější a hlubší otvory. Řezná část nástroje je upevněna na trubku nebo tyč potřebné délky. Řezná část je tvořena připájenými břitovými destičkami, středění v díře je bezpečně zajištěno pomocí vodítek. Řezná kapalina je do místa řezu přiváděna dírami v tělese vrtáku a zajišťuje vyplavování třísek, viz obr. 1.14 [13, 14].



Obr. 1.14 Odvod třísky při vrtání hlavňovým vrtákem [13].

Vrtací hlavy

Vrtací hlavy slouží k vrtání děr velkého průměru. Jsou osazeny připájenými nebo mechanicky upnutými vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD). Řezná kapalina je přiváděna buď mezi vrtákem a vrtanou dírou, nebo mezi pláštěm vrtací tyče a vnitřní trubkou, kterou je zajištěn odvod třísek. Příklad vrtací hlavy je zobrazen na obr. 1.15 [14].



Obr. 1.15 Vrtací hlava Perfomax SD602 [15].

Ejektorový vrták

Ejektorový vrták se skládá z vrtací hlavice, která je našroubována do vnější vrtací trubky. Řezná kapalina je do místa řezu přiváděna mezikružím mezi vnitřní a vnější trubkou, přičemž malé množství kapaliny odcházející štěrbinami v zadní části trubky způsobuje tzv. ejektorový efekt. Ejektorovým efektem se rozumí nasávání kapaliny směrem od břitu vrtáku a strhávání vznikajících třísek [13].

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

V této kapitole bude popsána společnost SSI Schäfer s. r. o. a charakteristika vyráběného dílu.

2.1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Společnost SSI Schäfer s. r. o. je předním celosvětovým dodavatelem celého spektra vnitropodnikových logistických systémů a produktů. V deseti výrobních závodech po celém světě jsou vyráběny skladovací zařízení od regálu po automatický sklad. Díky výrobkům společnosti SSI Schäfer s. r. o. lze optimalizovat procesy materiálového toku, zaručit dostupnost zboží, snížit náklady, četnost chyb, šetřit zdroje a lépe využívat potenciálu zaměstnanců [17].

Výrobní závod v Hranicích na Moravě vznikl v roce 1996 jako zámečnická firma se čtyřiceti zaměstnanci, kde se vyrábělo vybavení dílen. Postupně se firma rozrůstala, v dnešní době je závod v Hranicích největším výrobním podnikem koncernu s bezmála 1 300 zaměstnanci a vyrábí programovatelné stroje, regálové zakladače, dopravníky pro rozsáhlá logistická centra, ale i pro např. potravinářský, farmaceutický nebo automobilový průmysl [16]. Na obr. 2.1 je vyobrazen hranický závod společnosti, na obr. 2.2 příklady produktů.



Obr. 2.1 Závod SSI Schäfer Hranice na Moravě [16].



Obr. 2.2 Příklady produktů: Regálový zakladač RBG EXYZ
a paletový dopravník Orbiter [17].

V tab. 2.1 je uveden seznam obráběcích strojů, v tab. 2.2 seznam dalších technologií dostupných ve společnosti SSI Schäfer, s. r. o.

Tab. 2.1 Seznam obráběcích strojů.

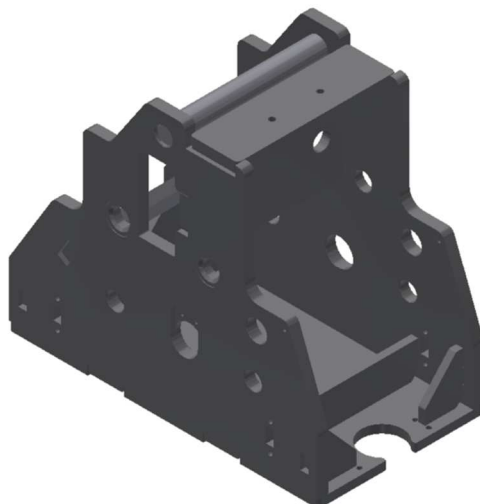
Stroj	Výrobce	Počet
Horizontální vyvrtávačka WF 13 R	Fermat CZ, s. r. o.	1x
Horizontální vyvrtávačka WHN 130 MC	TOS Varnsdorf, a. s.	1x
Horizontální vyvrtávačka WHQ 105 CNC	TOS Varnsdorf, a. s.	1x
Horizontální vyvrtávačka H100	TOS Varnsdorf, a. s.	1x
Portálová frézka FSGC 300/10	Strojírna TYC, s. r. o.	1x
Portálové obráběcí centrum MCV 1210 FA	Tajmac – ZPS, a. s.	1x
Vertikální obráběcí centrum MCFV 1680	Tajmac – ZPS, a. s.	2x
Soustruh SUA 170	TOS Čelákovice, a. s.	1x
Soustruh MT 820i	Kovosvit MAS	1x
Soustruh SV 18	TOS Trenčín	1x
Soustruh SU 50	TOS Čelákovice, a. s.	1x
Vrtačka OPTI – B50	První hanácká BOW, s. r. o.	1x
Vrtačka RD 1200	Bernardo	3x
Vrtačka VR4	Kovosvit MAS	1x
Vrtačka VS20	TOS Svitavy, a. s.	1x

Tab. 2.2 Strojní vybavení.

Stroj	Počet
Lisovací centrum Triumph	4x
Laser Triumph	5x
Plasma Omnicat	1x
Excentrický lis	10x
Děrovací hydraulický lis	1x
Ohraňovací lis	13x
Strojní nůžky	4x
Svařování MAG	151x
Svařování WIG	4x
Svařování MMA	20x
Svařování MOG	7x
Bodovací svařování	4x
Svařovací robot	7x
Kotoučová pila	3x
Pásová pila	2x
Pilovrtací centrum	2x
3D trubkový laser	1x
Tryskač	2x
Odjehlovačka	1x
Rovnačka plechů ARKU Fletmaster	1x
Prášková lakovna	2x
Mokrý lakovna	1x

2.1.1 POPIS OBRÁBĚNÉHO DÍLU

Pro návrh zefektivnění obrábění byl zvolen svařovaný díl Rollenträger, viz obr. 2.3, svařený z devíti dílců vyrobených na laseru z materiálu S235JR. Tento díl slouží jako držák protizávaží uvnitř sloupu regálového zakladače. Při použití nové technologie by mělo být zjednodušeno upínání dílce a mělo by dojít k urychlení obráběcího procesu, nutnosti přeupínání a úspoře strojního času.



Obr. 2.3 Obráběný svařenec Rollenträger.

2.1.2 OCEL S235JR

Ocel S235JR je nelegovaná konstrukční ocel, dobře svařitelná, vhodná pro použití u svařovaných, šroubovaných, nýtovaných konstrukcí, méně namáhaných strojních dílů a nosných konstrukcí strojů. Tato ocel není určena k tepelnému zpracování, s výjimkou normalizačního žíhání.

Tab. 2.3 Ekvivalenty oceli S235JR [18, 19, 20].

Norma	EN	ČSN	DIN
Označení	S235JR	11 373	USt 37 – 2

Tab. 2.4 Chemické složení oceli S235JR [18, 19, 20].

Prvek	C max	Mn max	Si max	P max	S max	N max	Fe
Obsah [hm. %]	0,170	1,400	–	0,045	0,045	0,007	Zbytek

V tab. 2.3 jsou uvedeny ekvivalenty označení pro ocel S235JR. V tab. 2.4 je uvedeno chemické složení, v tab. 2.5 základní mechanické vlastnosti a v tab. 2.6 základní fyzikální vlastnosti této oceli.

Tab. 2.5 Základní mechanické vlastnosti oceli S235JR [18, 19, 20].

Minimální mez kluzu R_{eH} [MPa]	235
Pevnost v tahu R_m [MPa]	340 až 470
Tažnost A_5 [%]	24
Minimální nárazová práce KV [J]	27
Modul pružnosti E [GPa]	206

Tab. 2.6 Základní fyzikální vlastnosti oceli S235JR [18, 19, 20].

Hustota ρ [kg.m ⁻³]	7850
Teplotní součinitel roztažnosti α [K ⁻¹]	$11,1 \cdot 10^{-6}$
Tepelná vodivost λ_t [W.m ⁻¹ K ⁻¹]	54,5
Minimální nárazová práce KV [J]	27

2.1.3 OBROBITELNOST OCELÍ

Obrobitelnost se vždy posuzuje podle použité metody obrábění, řezného materiálu a podmínek obrábění. Materiál obrobku se posuzuje na základě složení oceli a mechanických vlastností [21].

U ocelí do obsahu uhlíku $C < 0,25\%$ je nejpodstatnější strukturní složkou ferit. Ferit má velký sklon k lepení se k řeznému nástroji. Může způsobovat nežádoucí páskové a smotané třísky, špatnou kvalitu obrobeného povrchu a tvorbu otřepů. Při nízkých řezných rychlostech se tvoří nárustky. Při zvyšování řezné rychlosti postupně dochází k růstu opotřebení nástroje a řezné teploty [21].

K vyhodnocování obrobitelnosti jsou materiály rozděleny do devíti skupin, které jsou označovány malými písmeny [5]:

- a) litiny,
- b) oceli,
- c) těžké neželezné kovy,
- d) lehké neželezné kovy,
- e) plastické hmoty,
- f) přírodní nerostné hmoty,
- g) vrstvené hmoty,
- h) pryže,
- i) tvrzené litiny pro výrobu válců.

V každé skupině je vždy vybrán konkrétní materiál, sloužící jako etalon obrobitelnosti. Ve vztahu k tomuto materiálu se pak stanovuje obrobitelnost všech ostatních materiálů ze skupiny. Třídy obrobitelnosti jsou označovány číslem umístěným před písmeno určující skupinu. Rozdělení do tříd obrobitelnosti je dáno vztahem [5]:

$$i_0 = \frac{v_{c15}}{v_{c15 \text{ etalonu}}} \quad (2.1)$$

Kde: v_{c15} [m.min⁻¹] – řezná rychlost při trvanlivosti 15 min. pro sledovaný materiál,

$v_{c15 \text{ etalonu}}$ [m.min⁻¹] – řezná rychlost při trvanlivosti 15 min. pro etalonový materiál.

Materiál S235JR je pro frézování a vrtání zařazen do skupiny obrobitelnosti 14b, to znamená, že řezná rychlost daného materiálu při trvanlivosti 15 minut odpovídá řezné rychlosti při trvanlivosti 15 minut pro etalon, kterým je ocel s označením C50.

Rozdělení skupin obrobitelnosti „a“ až „d“ na třídy je uvedeno v tab. 2.7.

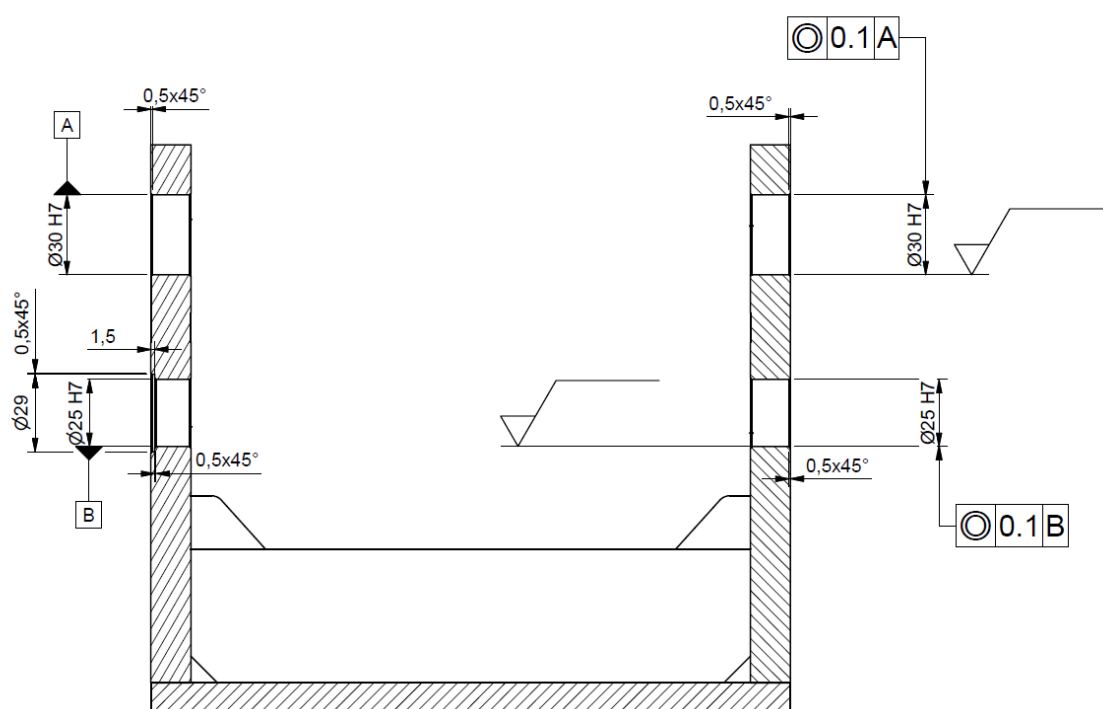
Tab. 2.6 Třídy obrobitelnosti [5].

Index obrobitelnosti i_0		Materiál			
Střed	Rozsah	Litiny	Oceli	Slitiny	
				mědi	hliníku
0,050	0,045 až 0,054		1b		
0,065	0,055 až 0,069		2b		
0,080	0,070 až 0,089		3b		
0,100	0,090 až 0,110	1a	4b		
0,130	0,120 až 0,140	2a	5b	2c	
0,160	0,150 až 0,170	3a	6b	3c	
0,200	0,180 až 0,220	4a	7b	4c	
0,250	0,230 až 0,280	5a	8b	5c	4d
0,320	0,290 až 0,350	6a	9b	6c	5d
0,400	0,360 až 0,440	7a	10b	7c	6d
0,500	0,450 až 0,560	8a	11b	8c	7d
0,630	0,570 až 0,710	9a	12b	9c	8d
0,800	0,720 až 0,890	10a	13b	10c	9d
1,000	0,900 až 1,120	11a	14b	11c	10d
1,260	1,130 až 1,410	12a	15b	12c	11d
1,590	1,420 až 1,780	13a	16b	13c	12d
2,000	1,790 až 2,240	14a	17b	14c	13d
2,500	2,250 až 2,820		18b	15c	14d
3,150	2,830 až 3,550		19b		15d
4,000	3,560 až 4,470		20b		16d

2.1.4 TECHNOLOGICKÝ ROZBOR SOUČÁSTI ROLLENTÄGER

Prvním nedostatkem je dodržení soustřednosti a souososti otvorů v protilehlých plotnách, viz obr. 2.4. U původní technologie je soustřednost a souosost otvorů zajištěna frézováním dosedací plochy a frézováním pomocných ploch pro vyrovnaní svařence. Při inovativní technologii bude využita možnost frézování v pěti osách.

Dalším problémem je přesnost svařování. Při nedodržení předepsané tolerance svařování není možné obrobit otvory v žebrech svařence, jednak z důvodu velkého vyložení nástroje a také z nedostatku prostoru pro nástrojový držák. Při špatně navařeném žebrech je potřeba zkorigovat poloměr nástroje. Touto korekcí dojde ke zmenšení osazení $\varnothing 40$ mm.



Obr. 2.4 Znárodnění předepsané soustřednosti a souososti.

3 ROZBOR STÁVAJÍCÍ VÝROBY DÍLU

V následující kapitole je popsána stávající technologie obrábění svařence Rollenträger. Názvy dílců a jejich rozměry nelze zveřejnit a z tohoto důvodu jsou popsány pouze obecně.

Obrábění samotného dílce předchází výroba svařence. Boční díly, základna a horní díl byly nejprve vyřezány na laseru Trumpf TLF 5000, následovala operace odjehlování na odjehlovače Lissmac. Po odjehlení dílců následovalo rovnání na stroji ARKU Fleatmaster 88/200.

Některé otvory a závity mohly být vyřezány před svařením, pozice těchto otvorů byly při řezání naznačeny laserem. Vrtání a závitování bylo realizováno na vrtačce Bernardo RD 1600.

Tyče, spojující boční díly svařence, byly nařezány na délku 234 mm na kotoučové pile Kaltenbach KKS 370, následovalo soustružení osazení na soustruhu SU 50.

Takto vyrobené dílce byly firemní intralogistikou převezeny na svařovnu a dle výkresu svařeny technologií MAG svařovacím agregátem Fronius.

Použitá výrobní zařízení jsou zobrazena na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Výrobní zařízení pro výrobu dílců svařence: 1) laser Trumpf TLF 5000, 2) odjehlovačka Lissmac, 3) rovnačka plechů ARKU Fleatmaster 88/200, 4) vrtačka Bernardo RD 1600, 5) kotoučová pila Kaltenbach KKS 370.

3.1 SLED VÝROBNÍCH OPERACÍ

Sled výrobních operací vychází z technického náčrtu, viz příloha A. Na technickém náčrtu byly zakótovány pouze rozměry a geometrické tolerance jednotlivých obráběných otvorů, ostatní rozměry byly na přání společnosti SSI Schäfer s. r. o. odstraněny. Sled výrobních operací je naznačen v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Sled výrobních operací.

Č. op.	Pracoviště	Výrobní zařízení	Popis operace
1	Obrobna	WHQ 105 CNC	1. upnutí
			Frézovat čelo plochy Frézovat pomocné dosedací plochy
2	Obrobna	WHQ 105 CNC	2. upnutí
			Strana M42 Navrtat $\varnothing 25H7$ Vrtat $\varnothing 23$ Frézovat zahloubení $\varnothing 40$ Srazit hranu $3 \times 45^\circ$ Vyhrubovat $\varnothing 25H7$ Vystružit $\varnothing 25H7$ Strana M41 Navrtat $\varnothing 25H7$ Vrtat $\varnothing 23$ Vyhrubovat $\varnothing 25H7$ Vystružit $\varnothing 25H7$ Frézovat $\varnothing 40$ Vystružit $\varnothing 40H7$ Frézovat zahloubení $\varnothing 40$ Hrubovat kapsu Dokončit kapsu Vrtat $\varnothing 4,2$ Srazit hranu $0,8 \times 45^\circ$ Řezat závity M5 Frézovat $\varnothing 29,8$ Frézovat $\varnothing 30H7$
3	Obrobna	WHQ 105 CNC	3. upnutí
			Navrtat $\varnothing 25H7$ Vrtat $\varnothing 23$ Vyhrubovat $\varnothing 25H7$ Vystružit $\varnothing 25H7$ Frézovat $\varnothing 40$ Vystružit $\varnothing 40H7$ Frézovat zahloubení $\varnothing 40$ Vrtat $\varnothing 4,2$ Srazit hranu $0,8 \times 45^\circ$ Řezat závity M5 Frézovat $\varnothing 29,8$ Frézovat $\varnothing 30H7$
4	Kontrola		Kontrolovat rozměry dle výkresu

3.2 VODOROVNÁ VYVRTÁVAČKA WHQ 105 CNC

Horizontální frézovací a vyvrtávací stroj WHQ 105 CNC, obr. 3.2, je výkonný, souvisle řízený obráběcí stroj vyráběný společností TOS Varnsdorf a. s. Souvislé řízení os X, Y, Z a W, společně s otočným polohovacím stolem vytváří podmínky pro přesné souřadnicové vyvrtávání, vrtání a frézování. O řízení pohybu se stará řídicí systém Heidenhain iTNC 530. Stroj je vybaven elektrooptickým odměřováním Heidenhain TS 640. Parametry obráběcího stroje jsou znázorněny v tab. 3.2 [22].



Obr. 3.2 WHQ 105 CNC.

Tab. 3.2 Parametry obráběcího stroje [22].

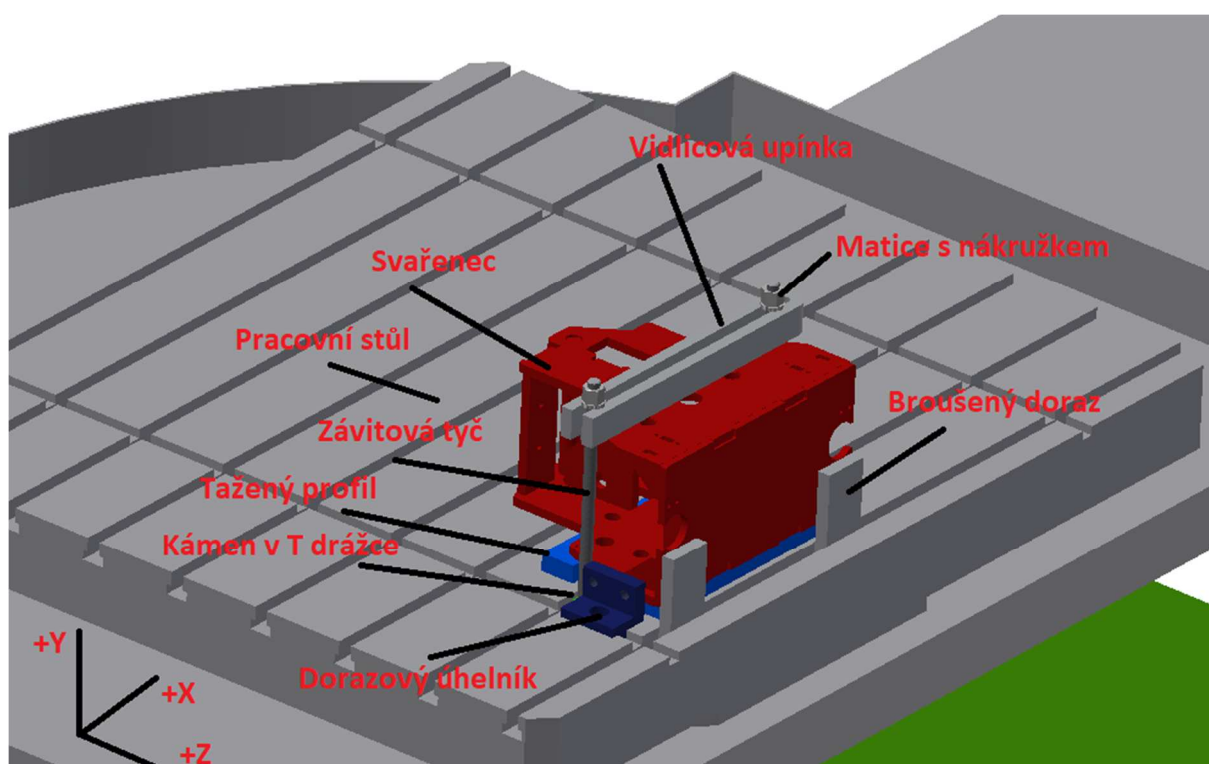
Průměr pracovního vřetena	mm	105
Kuželová dutina pracovního vřetena		ISO 50
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	10 až 3 300
Počet nástrojů v zásobníku		40
Jmenovitý výkon hlavního motoru S1 / S6	kW	28 / 35
Jmenovitý krouticí moment na vřetenu S1 / S6	Nm	919 / 1 148
Výsuv pracovního vřetena W	mm	630
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	1 250, 1 600
Podélné přestavení stojanu Z	mm	1 250
Příčné přestavení stolu X	mm	1 800
Max. hmotnost obrobku	kg	5 000
Rozměry upínací plochy stolu	mm	1 400 x 1 600
Rozsah posuvů (pracovní a rychloposuv) – X, Y, Z	mm.min ⁻¹	5 až 10 000
Rozsah posuvů (pracovní a rychloposuv) – W	mm.min ⁻¹	5 až 8 000
Rozsah posuvů (pracovní a rychloposuv) – B	m.min ⁻¹	0,003 až 2

3.3 TECHNOLOGICKÝ ROZBOR OBRÁBĚNÍ DÍLU

V následujících podkapitolách budou rozebrána jednotlivá upnutí svařence při obrábění, popis jednotlivých operací, seznam použitých nástrojů a časová náročnost.

3.3.1 PRVNÍ UPNUTÍ

Při prvním upnutí je svařenec položen na dvou tažených profilech o rozměrech 60 x 30 x 400 mm. V případě, že by byl svařenec položen přímo na stůl, nebylo by možné obrobit celou dosedací plochu. V ose Z je svařenec doražen na první podélné drážce pomocí broušených dorazových kamenů, které se po dotažení upínky odstraní. V ose X je svařenec doražen na pomocném úhelníku upevněném v levé příčné drážce. Upnutí je zajištěno dlouhou vidlicovou upínkou dotaženou pomocí závitových tyčí a matic s nákrůžkem do kamenů v T drážce, viz obr. 3.3.



Obr. 3.3 Schéma prvního upnutí.

Použité nástroje:

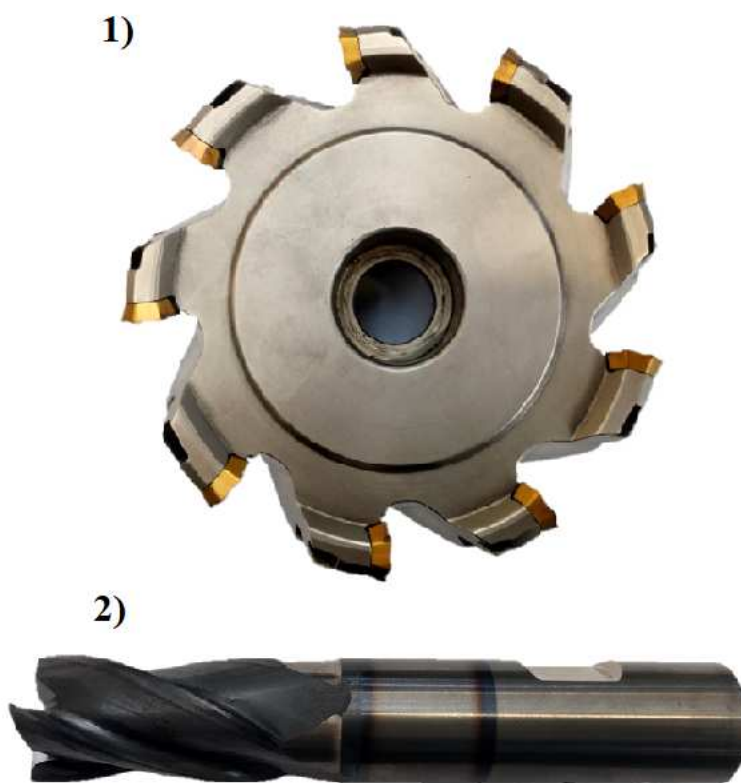
Pro frézování čelní plochy byla použita čelní fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD) o $\varnothing 125$ mm. Označení frézy je 7S – F45 9125 – 40R – 06. Tato fréza je osazena deseti VBD typu 7EMT 0604 AETR – ML.

Pro frézování pomocných ploch pro další upnutí byla použita monolitní fréza o $\varnothing 20$ mm ze slinutého karbidu, typ TF 4434 – 20.

Seznam nástrojů je uveden v tab. 3.3. Dodavatelem těchto nástrojů, obr. 3.4, je společnost TaeguTec ČR s. r. o.

Tab. 3.3 Řezné parametry použitých nástrojů při prvním upnutí.

Název nástroje uvedené rozměry v [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]	a_e [mm]
Čelní fréza s VBD ø 125 mm	180	900	1	118
Monolitní fréza ø 20 mm	125	800	14	1



Obr. 3.4 Nástroje použité při prvním upnutí: 1) Fréza ø 125 mm s VBD;
2) Monolitní fréza ø 20 mm.

Tvorba drah nástrojů:

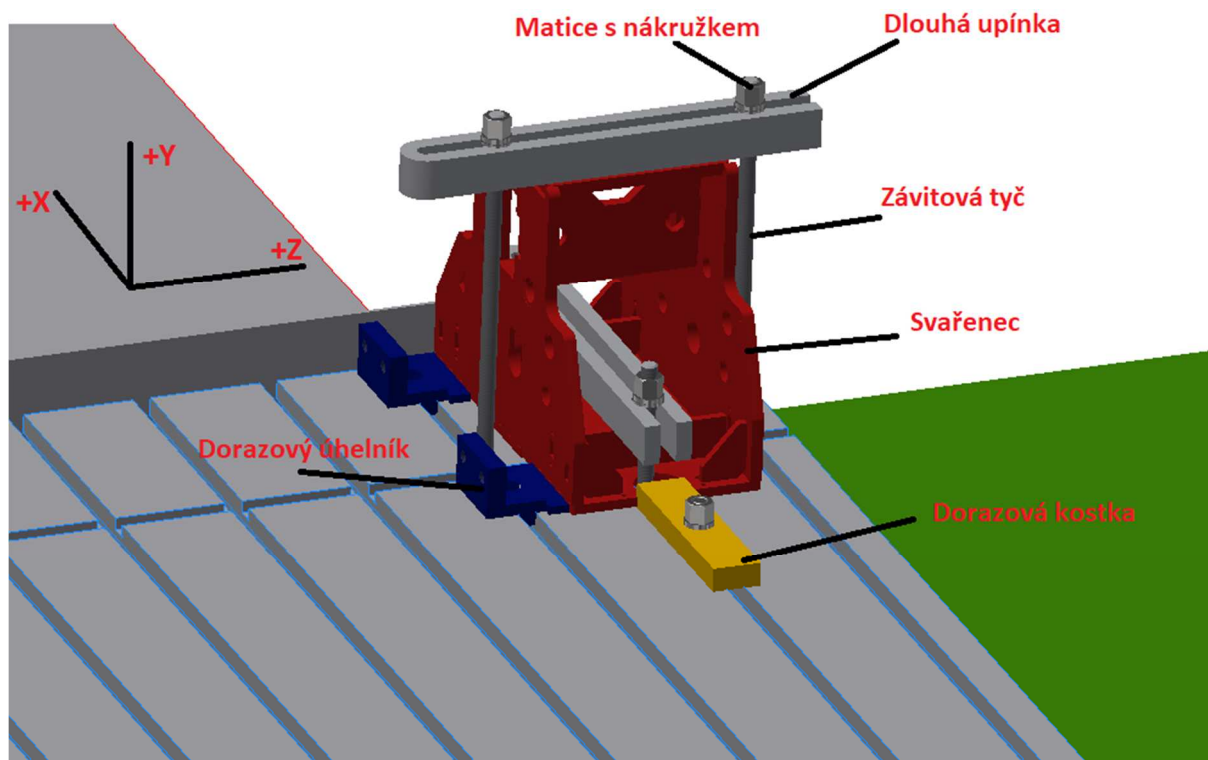
Dráhy nástrojů byly vytvořeny dílenským programováním v řídicím systému Heidenhain iTNC 530. Čelní frézování pomocí cyklu 232 (Čelní frézování) a frézování pomocných ploch s využitím SL cyklu 14 (Obrys) společně s SL cyklem 25 (Linie obrysu).

3.3.2 DRUHÉ UPNUTÍ

Při druhém upnutí je svařenec položen na opracované dosedací ploše. V ose Z je svařenec proti pohybu zajištěn dvěma dorazovými úhelníky doraženými o opracovanou pomocnou plochu obrobenou při prvním upnutí. V ose X je svařenec zajištěn proti pohybu dorazovou kostkou upnutou v druhé podélné drážce stolu pomocí matice s nákrůžkem M20, která je dotažena přes závitovou tyč do kamenu v T drážce, viz obr. 3.5.

Při obrábění „žebra“ je pracovní stůl otočen do pozice M42 a svařenec je dotažen současně ve spodní i v horní části tak, aby se předešlo vibracím. Po obrobení otvorů v žebro

$\varnothing 25H7$, osazení $\varnothing 40$ mm a sražení $3 \times 45^\circ$ je horní upínka odstraněna, stůl vytočen zpět do pozice M41 a operace pokračuje obráběním pravého bokorysu.



Obr. 3.5 Schéma druhého upnutí.

Použité nástroje:

Otvory $\varnothing 25H7$ obráběné na straně stolu M42 byly nejprve navrtány středícím vrtákem typu DIN 333 – A a následně vrtány vrtákem $\varnothing 24$ mm z kobaltové rychlořezné oceli. Po vyvrtání otvoru byl použit výhrubník $\varnothing 24,7$ mm. K frézování osazení $\varnothing 40$ mm byla použita fréza s VBD $\varnothing 32$ mm, značení tělesa frézy je: TE90AP 232 – 32 – 17 – L a použitých VBD: APKT 1705 PER – SM TT7800. Dalším nástrojem byla srážecí fréza pro obrobení sražení $3 \times 45^\circ$. Posledním použitým nástrojem byl výstružník $\varnothing 25H7$ mm.

Při obrábění na straně stolu M41 byly použity totožné nástroje jako na straně M42, k těmto nástrojům přibyl výstružník $\varnothing 40H7$, použitý po vyfrézování otvoru $\varnothing 37,8$ mm frézou s VBD. Fréza $\varnothing 16$, značená 4N TE90 – 216 – 16 – 06 s VBD: 4NKT 060308R – ML TT9080, byla použita k hrubování otvoru $\varnothing 30H7$. K frézování osazení $\varnothing 29$ a k dokončení otvoru $\varnothing 30H7$ byla použita monolitní fréza $\varnothing 20$ mm s označením TF 4434 – 20 od společnosti Unitool plus, s. r. o. Seznam nástrojů je uveden v tab. 3.4 a tab. 3.5 a zobrazen na obr. 3.6.

Tab. 3.4 Řezné parametry použitých nástrojů při druhém upnutí, strana M42.

Název nástroje uvedené rozměry v [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]	a_e [mm]
Vrták $\varnothing 24$	26	60	5	–
Fréza s VBD $\varnothing 32$	150	350	0,2	8
Výhrubník $\varnothing 24,7$	16	100	25	–
Srážecí fréza	30	30	6	–
Výstružník $\varnothing 25H7$	4	100	25	–

Tab. 3.5 Řezné parametry použitých nástrojů při druhém upnutí, strana M41.

Název nástroje uvedené rozměry v [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]	a_e [mm]
Vrták $\varnothing 24$	26	60	5	–
Výhrubník $\varnothing 24,7$	16	100	25	–
Výstružník $\varnothing 25H7$	4	100	25	–
Srážecí fréza	30	30	6	–
Fréza s VBD $\varnothing 32$	180	1000	0,75	16
Výstružník $\varnothing 40H7$	6	25	25	–
Monolitní fréza $\varnothing 20$	88	500	1,5	10
Fréza s VBD $\varnothing 16$	90	500	0,75	8

1)



2)



3)



4)

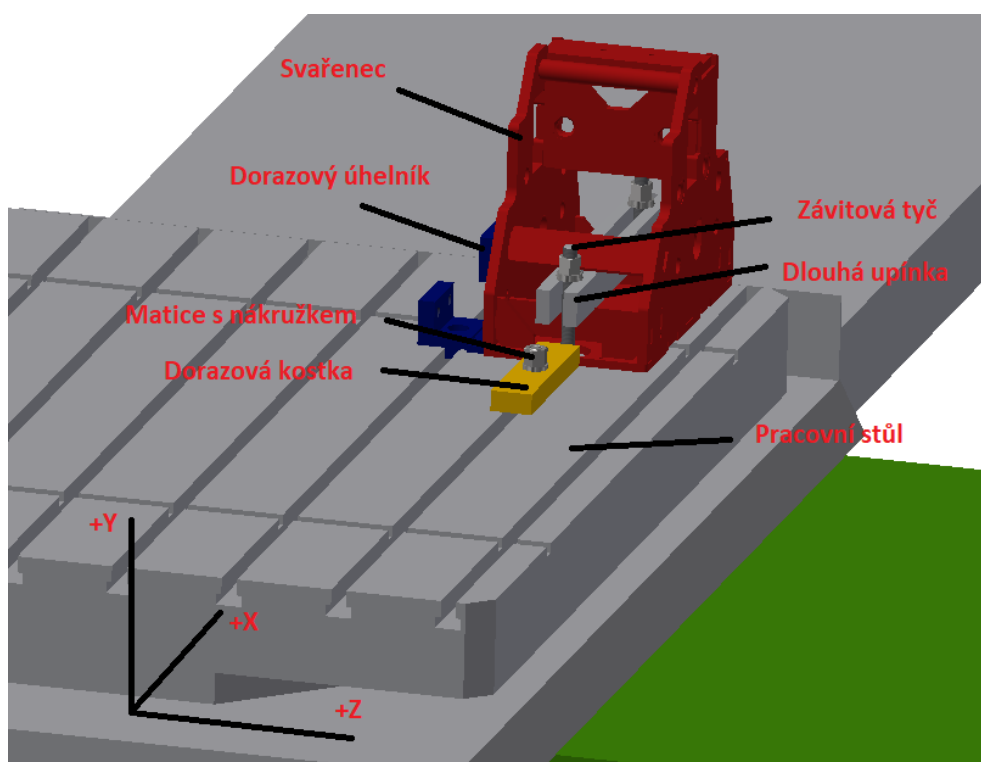


5)

Obr. 3.6 Nástroje použité při druhém upnutí: 1) HSS vrták $\varnothing 24$ mm; 2) fréza s VBD $\varnothing 32$; 3) výhrubník $\varnothing 24,7$ mm; 4) výstružník $\varnothing 25H7$; 5) fréza s VBD $\varnothing 16$.

3.3.3 TŘETÍ UPNUTÍ

Při třetím upnutí je svařenec položen stejně jako při druhém upnutí, na opracované dosedací ploše. Svařenec je oproti druhému upnutí otočen o 180° kolem osy Y, z důvodu obrobení levého bokorysu. V ose Z je svařenec proti pohybu zajištěn dvěma dorazovými úhelníky doraženými o opracovanou pomocnou plochu. V ose X je svařenec zajištěn proti pohybu dorazovou kostkou upnutou v druhé podélné drážce stolu pomocí matice s nákrůžkem M20, která je dotažena přes závitovou tyč do kamenu v T drážce. Svařenec je ke stolu připevněn pomocí dlouhé upínky umístěné přes střed svařence, zajištěné pomocí dvou závitových tyčí a matic M20 přes kameny v T drážce, viz obr. 3.7.



Obr. 3.7 Schéma třetího upnutí.

Použité nástroje:

Nástroje použité u třetího upnutí jsou totožné s nástroji pro obrábění na straně stolu M41 u upnutí druhého, viz tab. 3.6. Pro výrobu závitů M5 byl použit monolitní vrták $\varnothing 4,2$ mm s označením RT 100 U 5515 a závitník M5 značený 5734 – 5,0 od společnosti Gühring s. r. o., obr. 3.8.

Tab. 3.6 Řezné parametry použitých nástrojů při třetím upnutí.

Název nástroje uvedené rozměry v [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]	a_e [mm]
Vrták \varnothing 24	26	60	5	–
Výhrubník \varnothing 24,7	16	100	25	–
Výstružník \varnothing 25H7	4	100	25	–
Srážecí fréza	30	30	6	–
Fréza s VBD \varnothing 32	180	1000	0,75	16
Výstružník \varnothing 40H7	6	25	25	–
Monolitní fréza \varnothing 20	88	500	1,5	10
Fréza s VBD \varnothing 16	90	500	0,75	8
Monolitní vrták \varnothing 4,2	26	90	4	–
Závitník M5x0,75	6	–	17	–

Obr. 3.8 1) Monolitní vrták \varnothing 4,2 mm; 2) Závitník M5x0,75.***Tvorba drah nástrojů:***

Stejně jako při prvním upnutí byly dráhy u druhého a třetího upnutí vytvořeny dílenským programováním v řídicím systému Heidenhain iTNC 530. Byly použity tyto cykly: 200 (Vrtání), 208 (Frézování díry), 201 (Vystružování), 25 (Linie obrysu), 207 (Pevné závitování) a 214 (Kruhová kapsa načisto).

3.3.4 VÝSTUPNÍ KONTROLA SVAŘENCE

Svařenec byl po obrobení a odstranění ostrých hran a otřepů proměřen na kontrolním pracovišti. Kontrolovány byly rozměry \varnothing 25H7, \varnothing 30H7, \varnothing 40H7 pomocí kalibrů daných rozměrů, závit M5 pomocí závitového kalibru M5, souosost otvorů pomocí kontrolní kalibrované tyče, rozteče otvorů posuvným měřidlem a hloubka frézované kapsy hloubkoměrem. Některá použitá měřidla jsou vyobrazena na obr. 3.9.



Obr. 3.9 Použitá měřidla: 1) válcový kalibr $\varnothing 30H7$, 2) digitální posuvné měřidlo Mahr, 3) digitální hloubkoměr Mitutoyo, 4) závitový kalibr M5 – 6H.

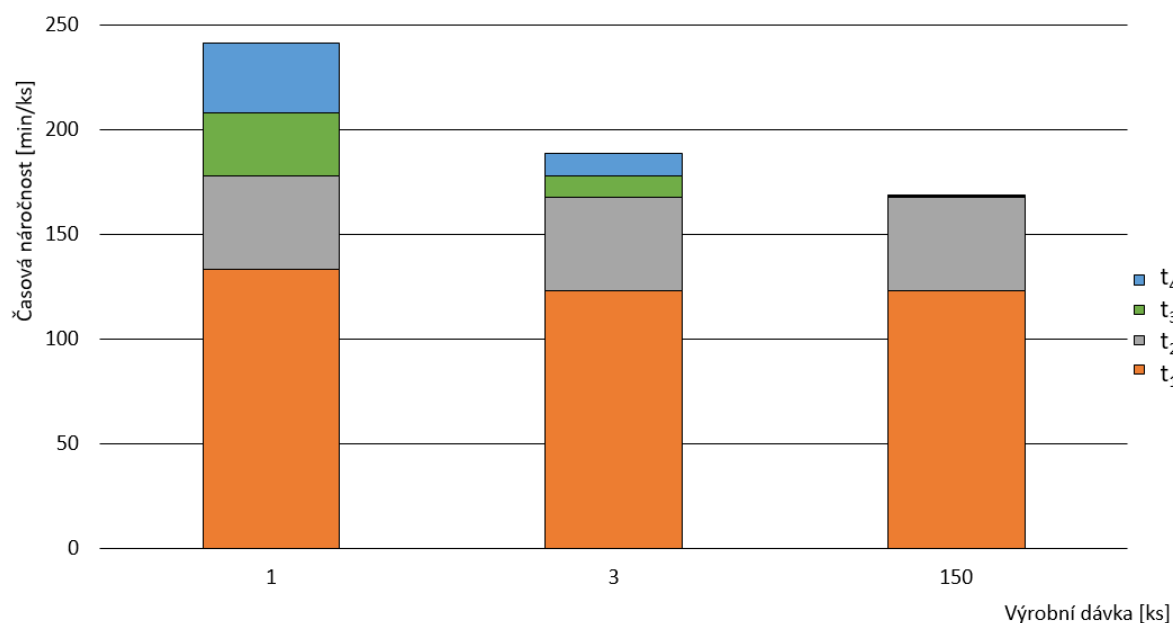
3.4 ROZBOR ČASOVÉ NÁROČNOSTI OBRÁBĚNÍ

K vyhodnocení efektivnosti výroby svařence je nutné provést rozbor časové náročnosti obrábění. Roční výrobní dávka je průměrně 150 ks. Z důvodu nemožnosti vyrábět celou roční dávku najednou, z hlediska nákladů na skladování a vytížení strojů jinými zakázkami, je výroba nastavena na průměrně tři svařence týdně. Časová náročnost obrábění je tedy vyčíslena pro výrobní dávku 1 kus, 3 kusy a 150 kusů, viz tab. 3.7. Na obr. 3.10 je naznačena grafická závislost časové náročnosti na velikosti výrobní dávky.

Tab. 3.7 Časová náročnost obrábění.

Výrobní dávka	1 ks	3 ks	150 ks
t_1 [min/ks]	133	123	123
t_2 [min/ks]	45	45	45
t_3 [min/ks]	30	10	0,2
t_4 [min/ks]	33	11	0,2
t_c [min/ks]	241	189	168

kde: t_1 [min/ks] – celkový strojní čas vztažený k jednomu kusu,
 t_2 [min/ks] – čas potřebný na upnutí a vyrovnaní,
 t_3 [min/ks] – čas na přípravu pracoviště,
 t_4 [min/ks] – čas na přípravu nástrojů,
 t_c [min/ks] – celkový čas pro obrobení jednoho kusu.



Obr. 3.10 Grafická závislost časové náročnosti na velikosti výrobní dávky.

Z obr. 3.10 je patrné, že čím vyšší je výrobní dávka, tím menší je celkový čas potřebný k obrobění jednoho kusu. V případě výroby 1 ks je potřebný čas k výrobě o 52 min vyšší než při dávce 3 ks z důvodu rozpočítání času přípravy pracoviště a použitých nástrojů. Při variantě výrobní dávky 150 ks, je tento čas v porovnání s časem pro jeden kus kratší o 73 min.

4 NÁVRH INOVATIVNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

Po předešlém rozboru současné technologie obrábění svařence Rollenträger bude v této kapitole popsána inovace, pomocí které lze dosáhnout zefektivnění výroby.

Pro zefektivnění výroby dílce byly brány v úvahu tyto varianty:

- změna použitých řezných nástrojů,
- změna řazení jednotlivých operací,
- nákup nového stroje,
- přesun výroby dílce na vhodnější zařízení.

Pomocí nových řezných nástrojů a materiálů lze zvýšit řezné podmínky a současně zachovat nebo dokonce zvýšit trvanlivost řezného nástroje. Zvýšením řezných podmínek docílíme úspory strojního času, který je jedním z faktorů, který značně ovlivňuje celkové výrobní náklady.

Změnou řazení jednotlivých operací lze dosáhnout úspory především tím, že se sníží počet výměn použitých řezných nástrojů, ovšem na úkor např. času na otočení stolu. Touto změnou nelze dosáhnout znatelného zefektivnění výroby při malých výrobních dávkách.

Nákup nového stroje je značnou investicí, která by se vyplatila pouze za určitých podmínek. Při sérii 150 ks/rok by se tato varianta nevyplatila.

Nejvhodnějším řešením pro zefektivnění výroby svařence Rollenträger je přesun výroby tohoto svařence na zařízení, které je aktuálně součástí strojového parku společnosti. Nejvhodnějším strojem pro výrobu dílce je frézovací centrum MCV 1210, které disponuje naklápěcím otočným stolem.

Před samotnou výrobou dílce je třeba vyrobit přípravek, který umožní upínání dílce tak, aby bylo možno obrobit celý dílec na jedno upnutí. Čas pro přípravu a upínání se značně zkrátí, tato varianta se tedy jeví jako nejlepší možnost.

4.1 SLED VÝROBNÍCH OPERACÍ

V tab. 4.1 je vypsán inovovaný sled výrobních operací.

Tab. 4.1 Sled výrobních operací.

Č. op.	Pracoviště	Výrobní zařízení	Popis operace
1	Obrobna	MCV 1210	<p>Otočit stůl na A – 90 C + 0 Předvrtat otvory \varnothing 25H7 Frézovat hrubováním \varnothing 25H7 Frézovat zahloubení \varnothing 40 mm Frézovat sražení 3x45° Frézovat dokončováním \varnothing 25H7 Otočit stůl na A – 90 C – 90 Předvrtat otvory \varnothing 25H7 Předvrtat otvory \varnothing 30H7 Předvrtat otvory \varnothing 40 mm Otočit stůl na A – 90 C + 90 Předvrtat otvory \varnothing 25H7 Předvrtat otvory \varnothing 30H7 Předvrtat otvory \varnothing 40 mm Frézovat hrubováním \varnothing 25H7 Frézovat hrubováním \varnothing 30H7 Frézovat hrubováním \varnothing 40H7 Frézovat kapsu hrubováním Frézovat zahloubení \varnothing 40 mm Frézovat sražení 3x45° Otočit stůl na A – 90 C – 90 Frézovat hrubováním \varnothing 25H7 Frézovat hrubováním \varnothing 30H7 Frézovat hrubováním \varnothing 40 mm Frézovat zahloubení \varnothing 29 mm Frézovat zahloubení \varnothing 40 mm Frézovat sražení 3x45° Frézovat dokončováním \varnothing 25H7 Frézovat dokončováním \varnothing 30H7 Frézovat dokončováním \varnothing 40H7 Otočit stůl na A – 90 C + 90 Frézovat dokončováním \varnothing 25H7 Frézovat dokončováním \varnothing 30H7 Frézovat dokončováním \varnothing 40H7 Frézovat kapsu dokončováním Vrtat \varnothing 4,6 mm Závitovat M5</p>
2	Kontrola		Kontrolovat rozměry dle výkresu

4.2 OBRÁBĚCÍ CENTRUM MCV 1210

Pětiosé obráběcí centrum MCV 1210 od společnosti Tajmac – ZPS, a. s., viz obr. 4.1, je vysoce produktivní stroj s vysokou přesností polohování. Součástí stroje je polohovatelný stůl zajišťující otáčení v osách „A“ a „C“. Řízení pohybu je zajištěno řídicím systémem Heidenhain iTNC 530. Součástí stroje je obrobková sonda od společnosti Renishaw s. r. o. Základní parametry stroje jsou uvedeny v tab. 4.2 [23].



Obr. 4.1 MCV 1210.

Tab. 4.2 Parametry obráběcího stroje [23].

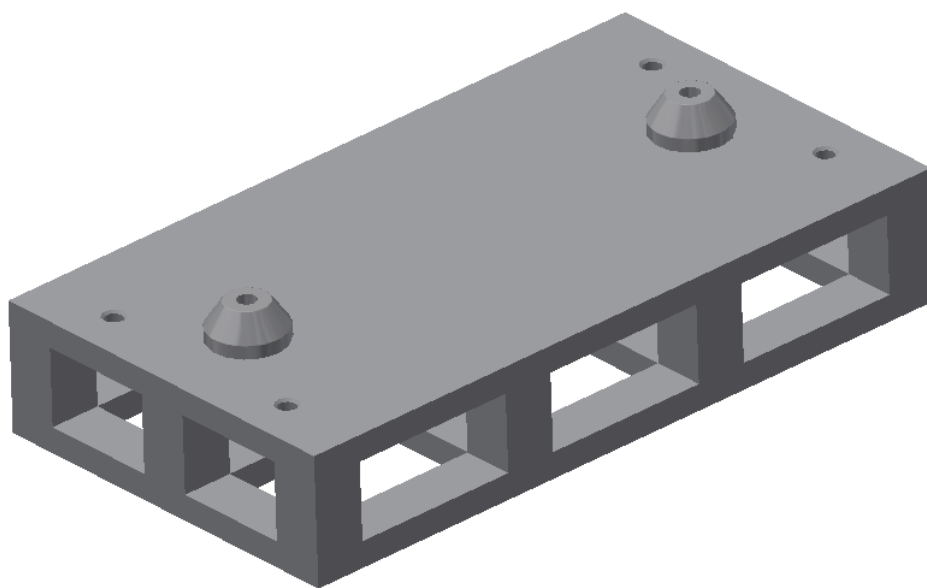
Typ pracovního vřetena		elektrovřeteno
Kuželová dutina pracovního vřetena		ISO 40
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	10 až 15 000
Počet nástrojů v zásobníku	ks	30
Maximální výkon vřetena	kW	31
Maximální krouticí moment vřetena	Nm	197
Maximální délka nástroje v zásobníku	mm	250
Osa X – křížový suport	mm	1 000
Osa Y – příčník	mm	800
Osa Z – smykadlo	mm	600
Maximální hmotnost obrobku	kg	3 000
Upínací plocha stolu	mm	ø 600
Rozsah osy A	°	± 95
Rozsah osy C	°	360
Maximální pracovní posuv	m.min ⁻¹	40

4.3 NÁVRH INOVATIVNÍHO POSTUPU OBRÁBĚNÍ DÍLU

V následujících podkapitolách bude popsána inovativní technologie, popis použitého přípravku a seznam použitých nástrojů.

4.3.1 UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK

Pro upnutí na stroji MCV 1210 byl navržen a vyroben upínací přípravek, obr. 4.2, který zajišťuje vystředění pomocí čepů v ose X a vyvýšení svařence ve směru Z, z důvodu dostupnosti smykadla k otvorům obráběných v „žeburu“.



Obr. 4.2 Upínací přípravek.

4.3.2 ROZBOR UPÍNÁNÍ SVAŘENCE

Ve stávajícím stavu obrábění svařence se při prvním upnutí obrábí dosedací plocha pro zajištění souososti otvorů vyráběných při dalších upnutích. Využitím přípravku není při inovativní technologii třeba obrábět tuto plochu, souosost otvorů se zajistí využitím víceosého obrábění, svařenec je tedy obroben na jedno upnutí.

Přípravek je zajištěn na pracovním stole ve středovém otvoru pomocí čepu, kolíky je zajištěn v drážce proti pootočení a ke stolu je upnut pomocí čtyř upínek.

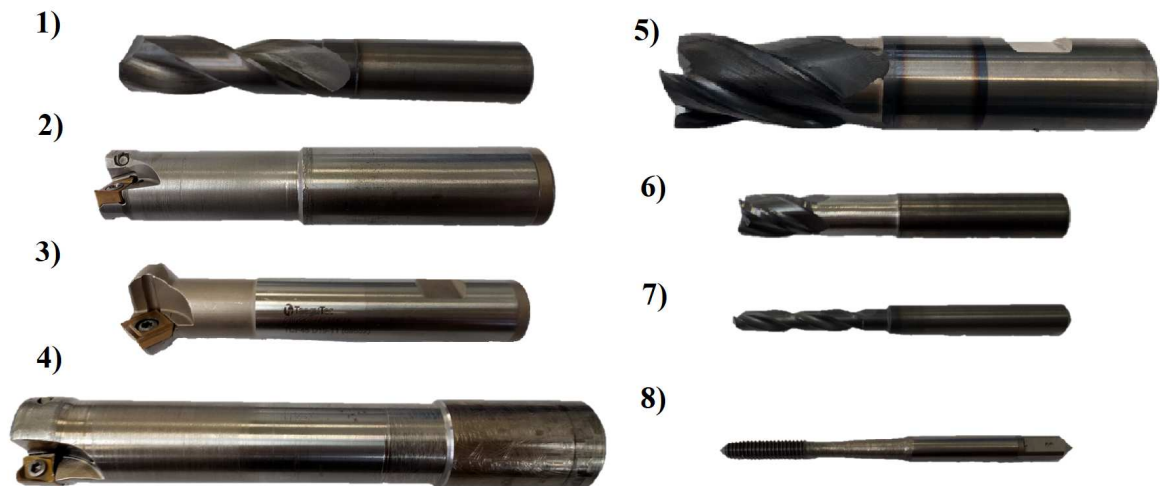
Svařenec je na přípravku vystředěn v ose X pomocí středících čepů a dotažen k přípravku přes upínky, viz obr. 4.3. Dvojice upínek, které jsou při natočení stolu do polohy A – 90 v horní části, jsou z důvodu dostupnosti zkráceny.



Použité nástroje:

Tab. 4.3 Řezné parametry použitých nástrojů.

47

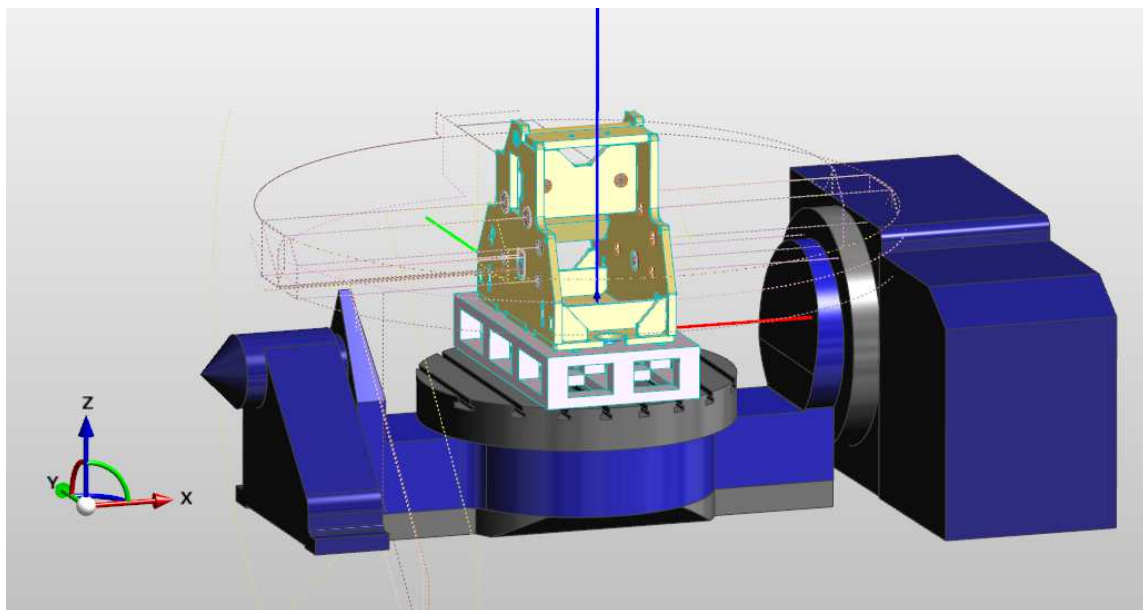


Obr. 4.4 Použité nástroje: 1) monolitní vrták \varnothing 17,5 mm; 2) fréza s VBD \varnothing 20 mm; 3) srážecí fréza \varnothing 19 mm; 4) fréza s VBD \varnothing 32 mm; 5) monolitní fréza \varnothing 20 mm; 6) monolitní fréza \varnothing 8 mm; 7) monolitní vrták \varnothing 4,6 mm; 8) tvářecí závitník M5x0,75.

Tvorba drah nástrojů:

Dráhy nástrojů byly vytvořeny pomocí softwaru Edgecam 18R2 převážně cykly profilování, obrábění děr a sražení hran. Pomocí cyklu profilování lze nastavit poloměrovou korekci, která je do NC kódu vygenerována jako korekce RL. Díky tomuto nastavení je možné při frézování použít zbrúšenou monolitní frézu, která má jmenovitý rozměr menší o hodnotu přebroušení.

NC kód byl vygenerován pomocí postprocesoru dodaného společností Nexnet, a. s. Dráhy nástrojů při procesu obrábění jsou zobrazeny na obr. 4.5.



Obr. 4.5 Dráhy nástrojů v softwaru Edgecam 18R2.

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola bude věnována porovnání stávající technologie obrábění dílu s inovativní technologií. Nejprve bude vyhodnocena časová náročnost inovativní technologie obrábění, následovat bude srovnání obou variant a jejich ekonomické zhodnocení.

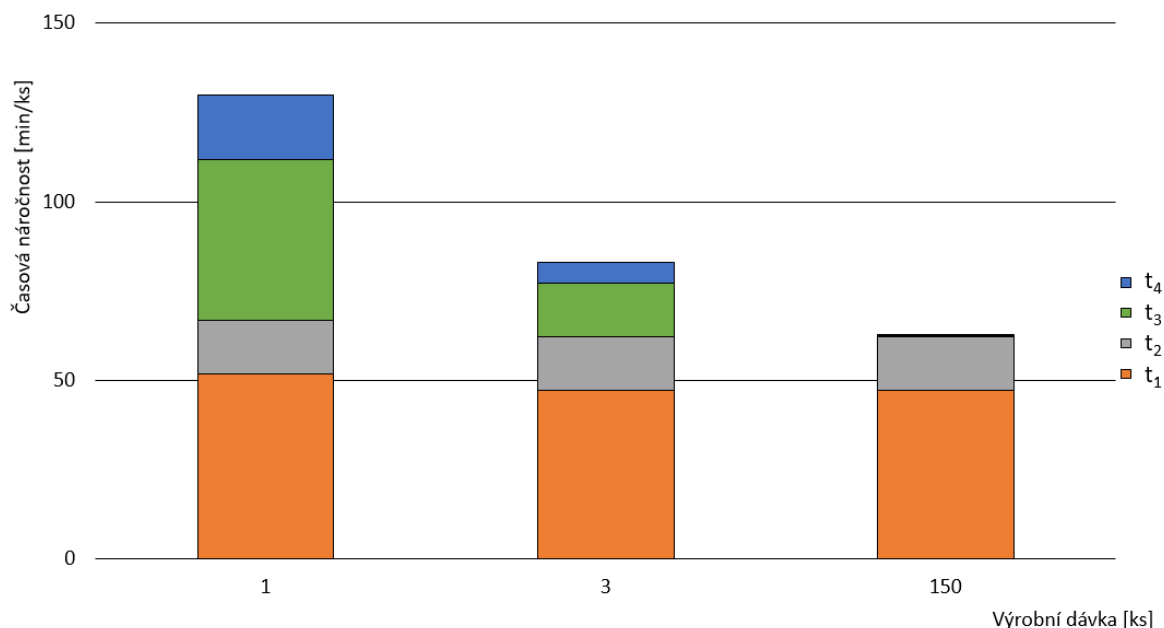
5.1 ROZBOR ČASOVÉ NÁROČNOSTI OBRÁBĚNÍ

Časová náročnost inovativní technologie obrábění byla vyhodnocena pro výrobní dávku 1 ks, 3 ks a 150 ks, viz tab. 5.1. Z důvodů popsaných v kapitole 3.4 je výrobní dávka průměrně 3 ks týdně. Na obr. 5.1 je zobrazena závislost časové náročnosti obrábění na výrobní dávce.

Tab. 5.1 Časová náročnost obrábění.

Výrobní dávka	1 ks	3 ks	150 ks
t_1 [min/ks]	52	47	47
t_2 [min/ks]	15	15	15
t_3 [min/ks]	45	15	0,3
t_4 [min/ks]	18	6	0,1
t_c [min/ks]	130	83	63

kde: t_1 [min/ks] – celkový strojní čas,
 t_2 [min/ks] – čas potřebný na upnutí a vyrovnaní,
 t_3 [min/ks] – čas na přípravu pracoviště,
 t_4 [min/ks] – čas na přípravu nástrojů,
 t_c [min/ks] – celkový čas pro obrobení jednoho kusu.



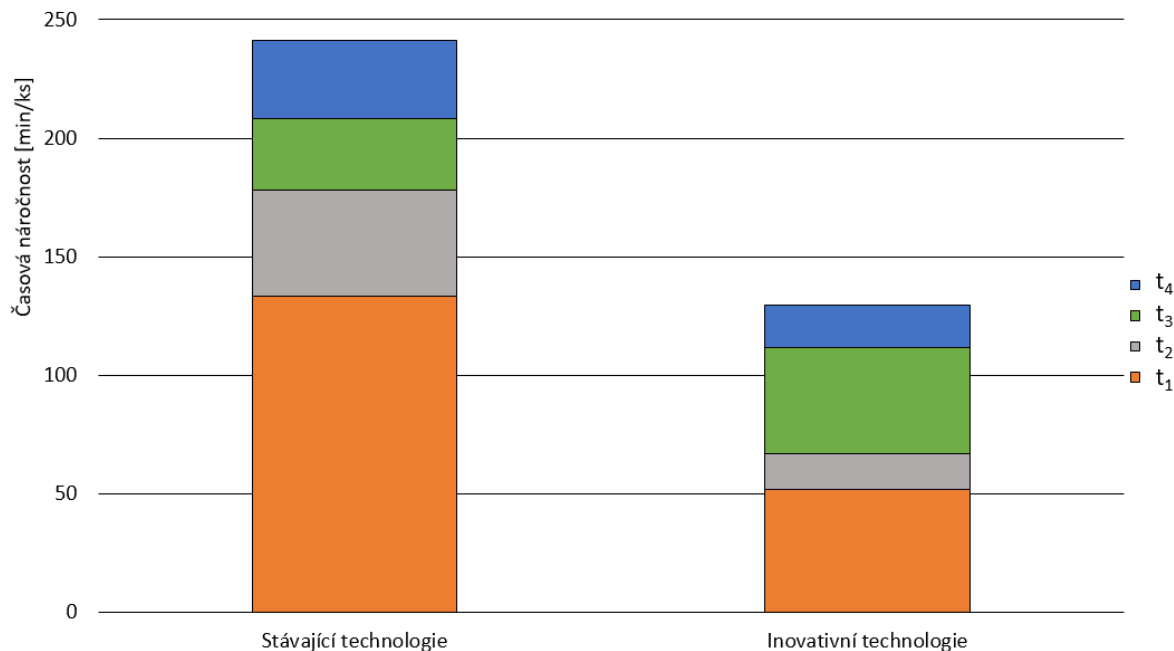
Obr. 5.1 Grafická závislost časové náročnosti na velikosti výrobní dávky.

5.2 SROVNÁNÍ VÝROBNÍCH ČASŮ OBOU VARIANT OBRÁBĚNÍ

V tab. 5.2 byl proveden souhrn časů obrábění pro stávající a inovativní technologii obrábění dílu Rollenträger. Časová náročnost stávající technologie výroby byla popsána v kapitole 3.4, inovativní technologie v kapitole 5.1.

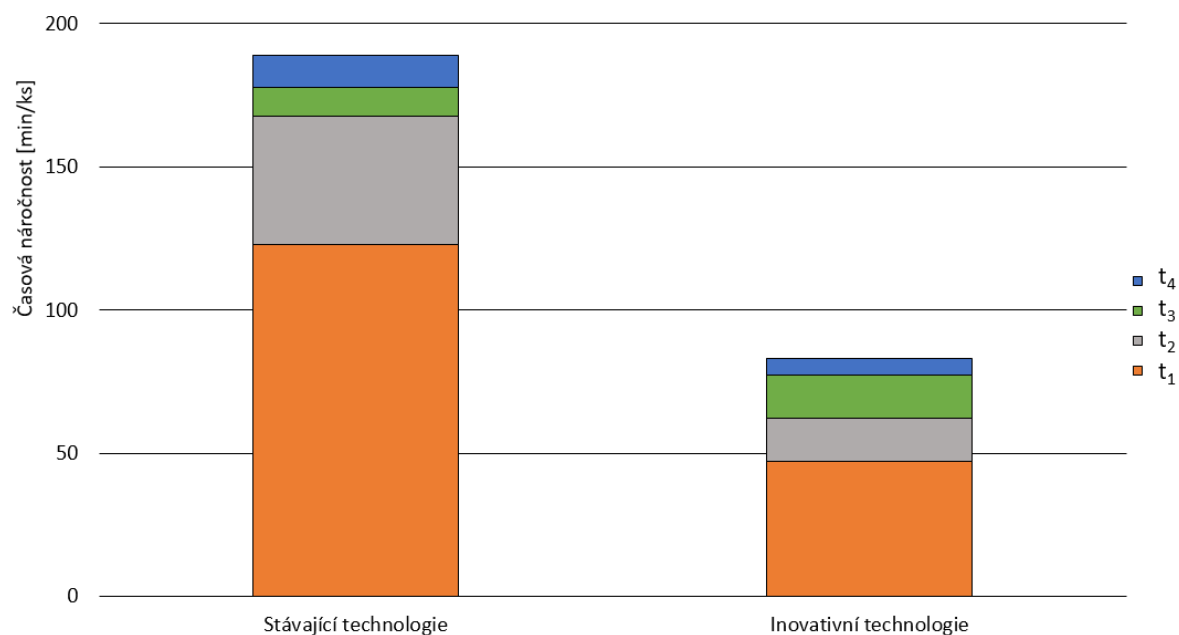
Tab 5.2 Srovnání časových náročností.

Stávající technologie			
Výrobní dávka	1	3	150
t_1 [min/ks]	133	123	123
t_2 [min/ks]	45	45	45
t_3 [min/ks]	30	10	0,2
t_4 [min/ks]	33	11	0,2
t_c [min/ks]	241	189	168
Inovativní technologie			
Výrobní dávka	1	3	150
t_1 [min/ks]	52	47	47
t_2 [min/ks]	15	15	15
t_3 [min/ks]	45	15	0,3
t_4 [min/ks]	18	6	0,1
t_c [min/ks]	130	83	63



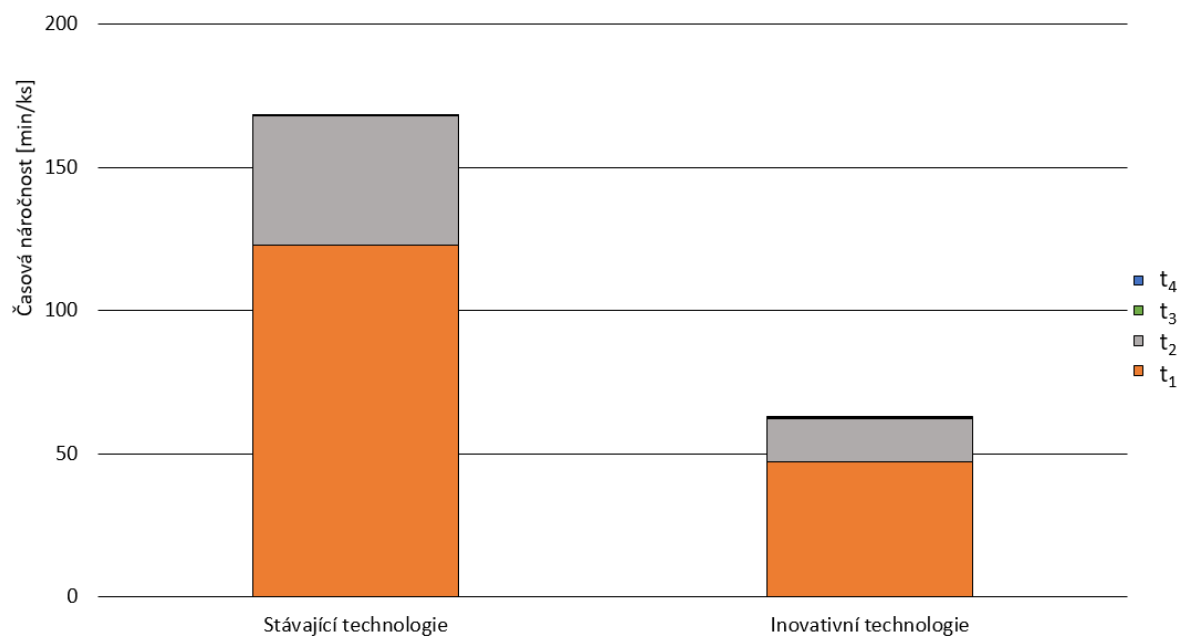
Obr. 5.2 Spotřeba času pro výrobní dávku 1 ks.

Z obr. 5.2 a tab. 5.2 je zřejmé, že čas nutný k opracování svařence se snížil z 241 min na 130 min. Obrábění pomocí inovativní technologie je tedy o 46 % kratší než u stávající technologie při předpokladu výrobní dávky 1 kus.



Obr. 5.3 Spotřeba času pro výrobní dávku 3 ks.

Při výrobní dávce 3 ks, obr. 5.3, došlo ke zkrácení času potřebného k obrobení o 106 min, což odpovídá 56 %. U výrobní dávky 150 ks, obr. 5.4, došlo ke zkrácení výrobního času o 105 min, což odpovídá 63 % oproti stávající technologii.



Obr. 5.4 Spotřeba času pro výrobní dávku 150 ks.

5.3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍ A INOVATIVNÍ TECHNOLOGIE

Ekonomické zhodnocení obou variant výroby bylo vyhodnoceno pomocí hodinových sazeb na jednotlivých výrobních zařízeních. Hodinové sazby strojů byly zaznamenány v tab. 5.3. Na základě těchto údajů lze vyhodnotit efektivnost daných technologií. Na přání společnosti byly sazby strojů zkráceny.

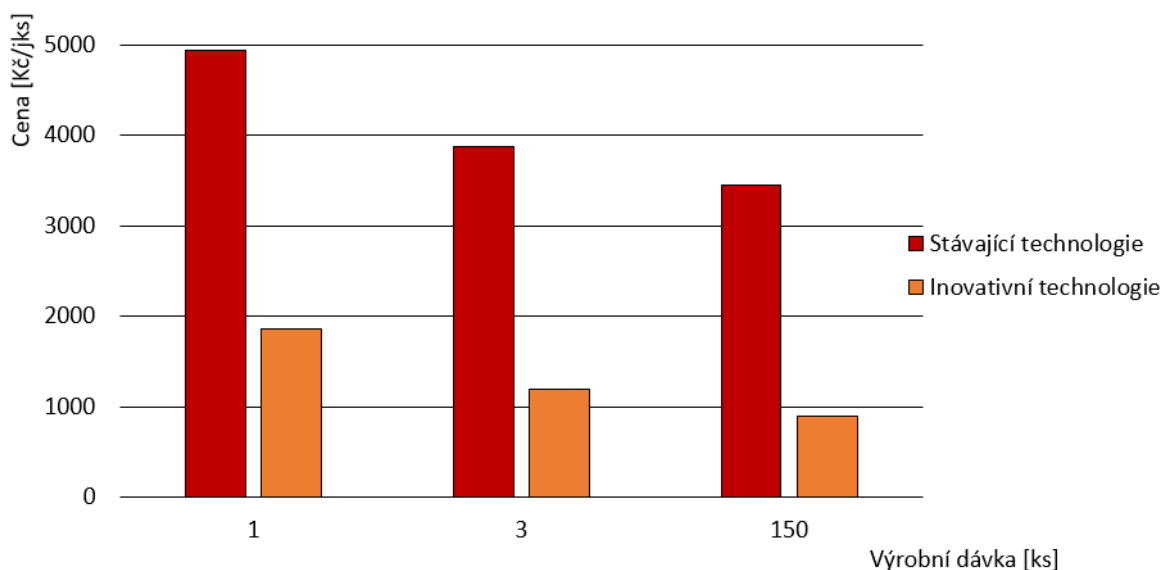
Tab. 5.3 Hodinové sazby strojů.

Výrobní zařízení	Hodinová sazba stroje [Kč/hod]
WHQ 105 CNC	1 230
MCV 1210	860

Rozbor finanční náročnosti výroby stávající a inovativní technologie pro výrobní dávku 1 ks, 3 ks a 150 ks je zobrazen v tab. 5.4, grafické znázornění na obr. 5.5.

Tab. 5.4 Finanční náročnost výroby.

Výrobní dávka	Stávající technologie	Inovativní technologie
1 ks	4 943 Kč/ks	1 860 Kč/ks
3 ks	3 873 Kč/ks	1 194 Kč/ks
150 ks	3 450 Kč/ks	898 Kč/ks



Obr. 5.5 Ekonomické porovnání technologií.

Z tab. 5.4 a obr. 5.5 vyplývá, že inovativní technologie výroby je úspornější než technologie stávající. U výrobní dávky 1 ks úspora činí 3 083 Kč, což odpovídá 62 %.

Při výrobní dávce 3 kusy činí úspora 2 679 Kč, dochází tedy k úspoře 62 % oproti stávající technologii. Při výrobě 150 kusů svařence v jedné dávce jsou náklady na obrábění nižší o 2 552 Kč, což odpovídá úspoře 74 % oproti stávající technologii.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá návrhem nové technologie obrábění dílce Rollenträger vyráběným ve společnosti SSI Schäfer s. r. o. v Hranicích na Moravě. Cílem této diplomové práce bylo provést analýzu stávajícího stavu obrábění dílce a navrhnout inovativní metodu, díky které lze dosáhnout zefektivnění výroby.

V teoretické části práce byl proveden rozbor technologií frézování a vrtání, které byly při výrobě dílce použity. Dále byla představena společnost SSI Schäfer s. r. o. a charakteristika obráběného dílce.

V analýze stávajícího stavu obrábění byly popsány jednotlivé kroky výroby. Obrábění dílce bylo realizováno na vodorovné vyvrtávače WHQ 105 CNC, pomocí třech upnutí. V prvním upnutí byla frézována dosedací plocha a pomocné plochy pro odměřování při dalších upnutích. Při druhém a třetím upnutí byly obrobena boční plochy a spojující „žebro“. V další části byl vypracován rozbor spotřeby výrobního času pro výrobní dávku 1 kus, 3 kusy a 150 ks. Při výrobní dávce 1 kus bylo dosaženo celkového času pro obrobění $t_C = 241$ minut. U výrobní dávky 3 kusy bylo dosaženo $t_C = 189$ minut. U výrobní série 150 kusů bylo dosaženo výrobního času $t_C = 168$ minut.

Inovativní technologie byla navržena pro portálové centrum MCV 1210, byl představen upínací přípravek, pomocí něhož lze výrobu tohoto dílce realizovat na jedno upnutí. Dále bylo popsáno samotné upnutí, použité nástroje, tvorba drah softwarem EdgeCAM 2018 R2.

V technicko – ekonomickém zhodnocení byly vyhodnoceny tyto výsledky:

- při výrobní dávce o velikosti 1 kus byla spotřeba času snížena z 241 minut na 130 min. Úspora času pro tuto výrobní dávku činila 46 %,
- výrobní čas při dávce 3 kusy se zmenšil ze 189 minut na 83 minut, což činilo 56 %,
- u výrobní dávky 150 kusů byl výrobní čas snížen ze 168 minut na 63 minut, to odpovídá úspoře 63 %,
- výrobní náklady u výrobní dávky 1 kus byly sníženy ze 4 943 Kč/ks na 1 860 Kč/ks. Finanční úspora činí 3 083 Kč/ks, výdaje byly sníženy o 62 %,
- při výrobní dávce 3 kusy došlo ke snížení nákladů na obrábění z 3 873 Kč/ks na 1 194 Kč/ks. Výrobní náklady byly sníženy o 62 %,
- při výrobní dávce 150 kusů došlo ke snížení z 3 450 Kč/ks na 898 Kč/ks, finanční úspora tedy činí 74 %.

Z důvodu nedostatku skladovacích prostor a využití stroje dalšími zakázkami byla zvolena varianta výrobní dávky 3 ks týdně. Pomocí inovativní technologie došlo ke snížení výrobních nákladů o 62 %. Inovativní technologie byla začleněna do výrobního procesu a nahradila stávající technologii.

Z uvedeného shrnutí vyplývá, že výrobní proces byl zefektivněn a tím byly naplněny všechny cíle diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Technická příručka obrábění: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů : příručka firmy Sandvik Coromant*. Praha: Sandvik Coromant, 2005.
- [2] KOCMAN, Karel. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] PŘIKRYL, Zdeněk a Rosa MUSÍLKOVÁ. *Teorie obrábění*. 3. oprav. vyd. Praha: SNTL, 1982, 235 s.
- [4] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [5] HUMÁR, A. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část. [Http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf) [online]. b.r. [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [6] VEJTASA, Vladimír. *Aplikace dílenského programování a moderní CAD/CAM technologie pro návrh a výrobu držáku a excentru diferenciálu vozu Formule Student*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2014.
- [7] TRČKA, Vojtěch. *Návrh technologie obrábění pro výrobu součásti základna kamery*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2013.
- [8] PETRLÍKOVÁ, Helena. *Pevnostní analýza řezných nástrojů*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2010.
- [9] HORVÁTH, Ľudovít. *Model profilu povrchu obrobku obrobeného válcovou obvodovou frézou*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
- [10] TSCHÄTSCH, Heinz. *Applied machining technology*. New York: Springer, 2009. ISBN 978-3-642-01006-4.
- [11] BRYCHTA, Josef. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2019-01-04]. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [12] HAPALA, V. *Technologické možnosti nástroje pro obrábění otvorů velkých průměrů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.
- [13] TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část. *Ústav strojírenské technologie* [online]. b.r. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf

- [14] ŘASA, J. a V. GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [15] Obrábění otvorů. *Seco tools* [online]. b.r. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/cs/Global/Services--Support/Machining-Navigator/>
- [16] Firma SSI Schäfer Hranice. *IDnes.cz* [online]. Mafra, a. s., 2019 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: https://sdeleni.idnes.cz/olomouc/firma-ssi-schafer-hranice-ze-zamecnicke-dilny-tovarna-pro-1300-lidi.A180824_171411_ostrava-sdeleni_rest
- [17] Společnost. *SSI Schäfer v České republice* [online]. 57290 Neunkirchen/Siegerland: SSI Schäfer, 2019 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://www.ssi-schaefer.com/cs-cz/spole%C4%8Dnost/ssi-schaefer-deutschland-194680>
- [18] Přehled vlastností oceli S235JR. *Bolzano.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP_prehled_vlastnosti_S235JR.pdf
- [19] Materiálový list 1.0038. *Bogner.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: http://www.bogner.cz/files/files/Materialovy_list_1.0038.pdf
- [20] *Ocel 11 373: ČSN 41 1373* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLT_peBZxsdEI75N8MGgz73w
- [21] *GARANT příručka obrábění*. 1. vyd. München: Hoffmann GmbH Qualitätswerkzeuge, 2006, 641 s. ISBN 3-00-016882-6.
- [22] Výrobní program. *TOS Varnsdorf* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07].
- [23] *Prospekt MCV 1210: Tajmac - ZPS* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07].

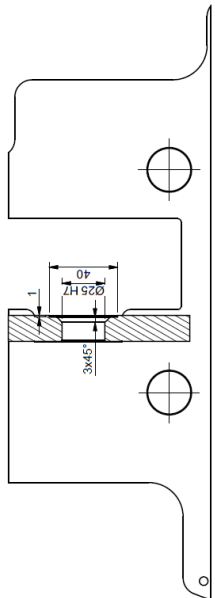
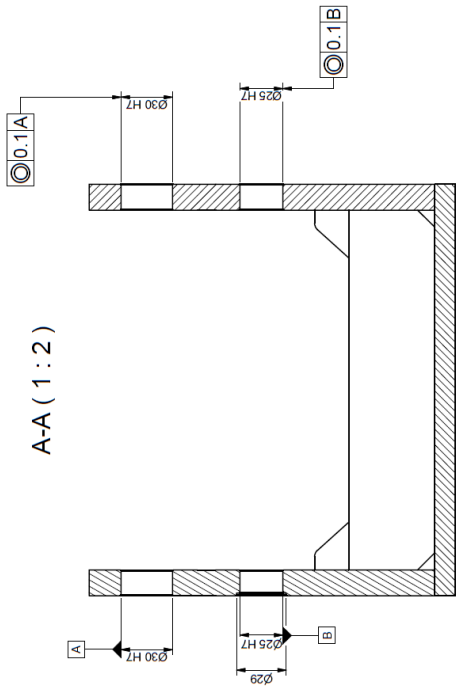
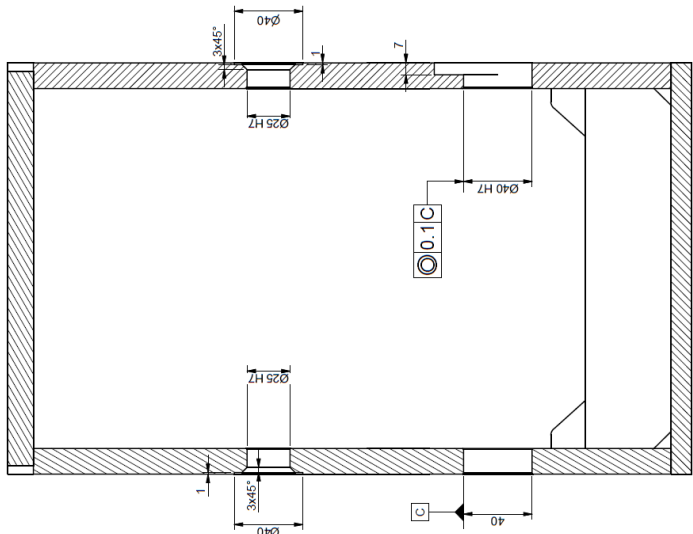
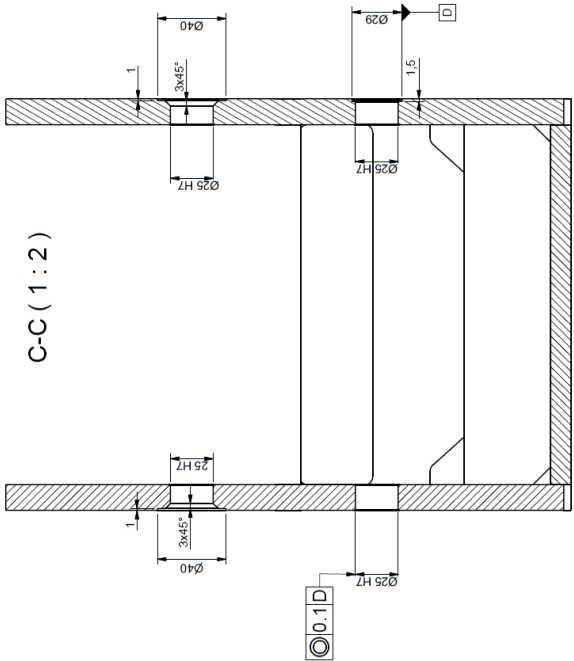
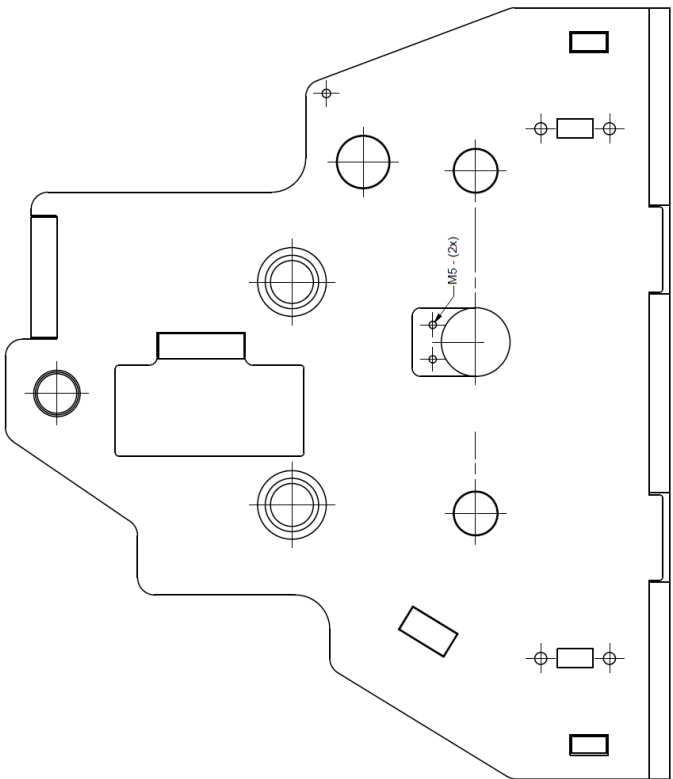
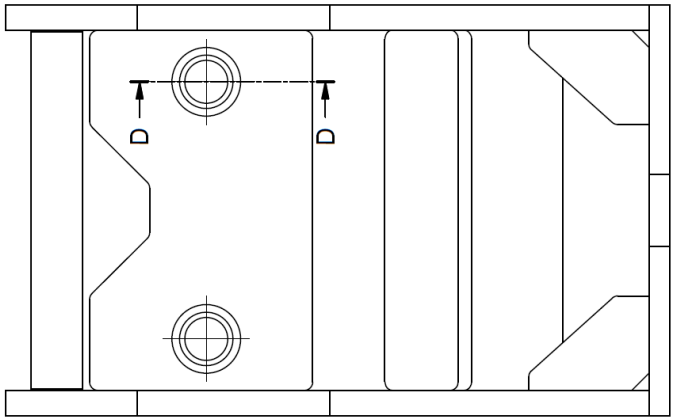
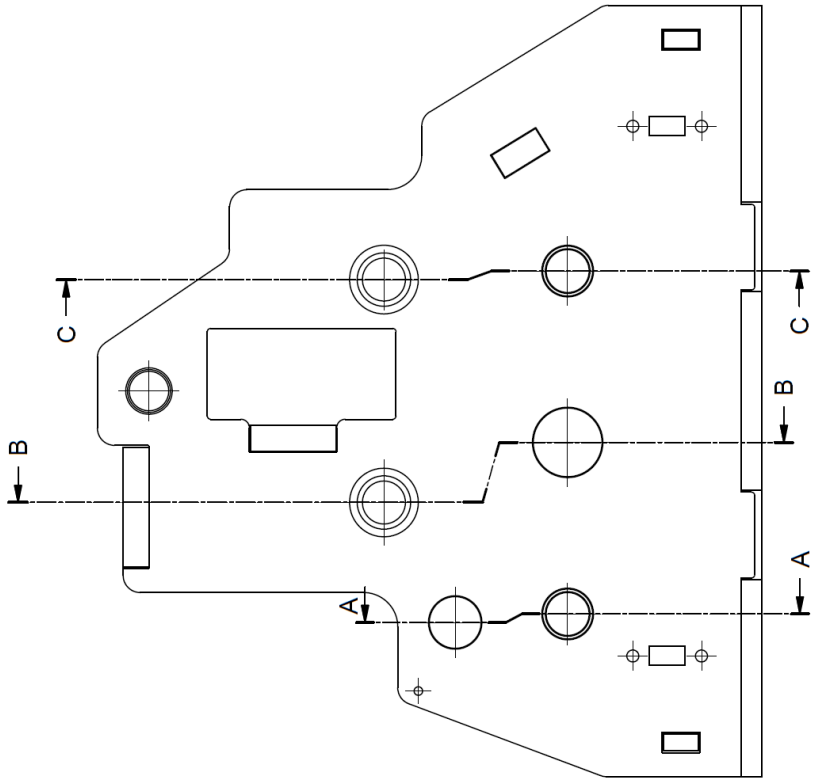
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Značka	Jednotka	Veličina
v_c	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	řezná rychlost
D	$[\text{mm}]$	průměr nástroje
n	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky
v_f	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	rychlost posuvu
f_z	$[\text{mm}]$	posuv na zub nástroje
z	$[-]$	počet zubů nástroje
v_e	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	rychlost řezného pohybu
h_i	$[\text{mm}]$	jmenovitá tloušťka třísky
φ_i	$[\circ]$	úhel posuvového pohybu
A_{Di}	$[\text{mm}^2]$	jmenovitý průřez třísky
a_p	$[\text{mm}]$	šířka záběru ostří
F_{ci}	$[\text{N}]$	řezná síla
k_{ci}	$[\text{MPa}]$	měrná řezná síla
C_{Fc}	$[-]$	konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu
x	$[-]$	exponent vlivu tloušťky třísky
F_c	$[\text{N}]$	celková řezná síla
n_z	$[-]$	počet zubů v záběru
φ_{max}	$[\circ]$	maximální úhel posuvového pohybu
t_{AS}	$[\text{min}]$	jednotkový strojní čas
L	$[\text{mm}]$	dráha nástroje ve směru posuvového pohybu
l	$[\text{mm}]$	délka frézované plochy
l_n	$[\text{mm}]$	délka náběhu
l_p	$[\text{mm}]$	délka přeběhu
l_{nf}	$[\text{mm}]$	délka náběhu frézy
H	$[\text{mm}]$	hloubka odebírané vrstvy
κ_r	$[\circ]$	úhel nastavení hlavního ostří nástroje
b	$[\text{mm}]$	šířka třísky
ψ	$[\circ]$	maximální úhel posuvového pohybu
l_{pf}	$[\text{mm}]$	délka přeběhu frézy
e	$[\text{mm}]$	přesazení frézy

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Značka	Jednotka	Veličina
f	[mm]	posuv na otáčku
b_d	[mm]	jmenovitá šířka třísky
h_d	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
R_{eH}	[MPa]	Minimální mez kluzu
R_m	[MPa]	Pevnost v tahu
A_5	[%]	Tažnost
KV	[J]	Minimální nárazová práce
E	[GPa]	Modul pružnosti
α	[K ⁻¹]	Teplotní součinitel roztažnosti
λ_t	[W.m ⁻¹ K ⁻¹]	Tepelná vodivost
ρ	[kg.m ⁻³]	Hustota
v_{c15}	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost při trvanlivosti 15 min pro sledovaný materiál
$v_{c15\ etalonu}$	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost při trvanlivosti 15 min. pro etalonový materiál

Zkratka	Význam
VBD	vyměnitelná břitová destička
SL	subcontour list
M41	Poloha otočného stolu u WHQ 105 CNC
M42	Poloha otočného stolu u WHQ 105 CNC
M43	Poloha otočného stolu u WHQ 105 CNC



D-D (1:2)

A-A (1:2)

B-B (1:2)

C-C (1:2)